

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Audrius RIMA

TAISYKLĖMIS GRINDŽIAMŲ VEIKLOS  
PROCESŲ SU BENDRAI NAUDOJAMAIŠ  
IŠTEKLIAIS MODELIAVIMO IR  
SIMULIACIJOS TYRIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,  
INFORMATIKOS INŽINERIJA (07T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2016

Disertacija rengta 2010–2016 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

### **Vadovas**

prof. dr. Olegas VASILECAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, informatikos inžinerija – 07T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Informatikos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

### **Pirmininkas**

prof. habil. dr. Antanas ČENYS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, informatikos inžinerija – 07T).

### **Nariai:**

dr. Robertas DAMAŠEVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, informatikos inžinerija – 07T),

prof. dr. Vitalijus DENISOVAS (Klaipėdos universitetas, informatikos inžinerija – 07T),

prof. dr. Arnas KAČENIAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, informatikos inžinerija – 07T),

doc. dr. Raimundas MATULEVIČIUS (Tartu universitetas, Estija, informatikos inžinerija – 07T).

Disertacija bus ginama viešame Informatikos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2016 m. gruodžio 19 d. 14 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2016 m. lapkričio 18 d.

Disertaciją galima peržiūrėti VGTU talpykloje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2397-M mokslo literatūros knyga  
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-974-5

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2016

© Audrius Rima, 2016

[audrius.rima@gmail.com](mailto:audrius.rima@gmail.com)

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Audrius RIMA

**A RESEARCH ON MODELLING AND  
SIMULATION OF RULES BASED  
BUSINESS PROCESSES WITH  
SHARED RESOURCES**

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,  
INFORMATICS ENGINEERING (07T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2016

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2010–2016.

### **Supervisor**

Prof. Dr Olegas VASILECAS (Vilnius Gediminas Technical University, Informatics Engineering – 07T).

The Dissertation Defence Council of Scientific Field of Informatics Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

### **Chairman**

Prof. Dr Habil. Antanas ČENYS (Vilnius Gediminas Technical University, Informatics Engineering – 07T).

### **Members:**

Dr Robertas DAMAŠEVIČIUS (Kaunas University of Technology, Informatics Engineering – 07T),

Prof. Dr Vitalijus DENISOVAS (Klaipeda University, Informatics Engineering – 07T),

Prof. Dr Arnas KAČENIAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Informatics Engineering – 07T),

Assoc. Prof. Dr Raimundas MATULEVIČIUS (Tartu University, Estonia, Informatics Engineering – 07T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Informatics Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **2 p. m. on 19 December 2016**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send 18 November 2016.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at VGTU repository <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

# Reziumė

Disertacijoje nagrinėjama verslo procesų su ribotais ir bendrai naudojamais išteklių modeliavimo ir simuliacijos problema.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros, autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir santrauka anglų kalba.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, giniai teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje pateikta darbo srautų, verslo procesų modeliavimo ir simuliacijos metodų analizė. Atliekamas verslo procesų simuliacijos įrankių palyginimas. Apžvelgiamas verslo proceso modelių tinkamumas simuliacijai. Pateikiami skirtumai tarp verslo proceso vykdymo ir simuliacijos. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados.

Antrajame skyriuje nagrinėjamas išteklių modeliavimas verslo procesų modeliuose. Atskleidžiama procesų konkurencijos dėl išteklių problema. Pasiūlomas išteklių klasifikavimo būdas. Identifikuotos ir aprašytos veiklų konkurencijos dėl ribotų ir bendrai naudojamų išteklių situacijos. Konkurencija dėl išteklių turi būti įvertinta, nes tai pakeičia proceso vyksmą laike.

Trečiajame skyriuje pasiūlytas verslo proceso su bendrai naudojamais išteklių simuliacijos arba konkuruojančių verslo procesų metodas. Suformuluoti reikalavimai išteklių modeliavimui ir simuliacijai verslo procesuose. Pasiūlytas išteklių vaizdavimo verslo proceso modeliuose metodas. Toks verslo proceso modelis yra suprantamas verslo atstovams.

Ketvirtajame skyriuje aprašyti atlikti eksperimentai naudojant verslo proceso su bendrai naudojamais išteklių modeliavimo ir simuliacijos metodą. Atlikti eksperimentai su realiais verslo procesais parodė, kad simuliacija, įvertinant bendrai naudojamus išteklius, pateikia rezultatus artimesnius stebimiems realybėje. Darbo pabaigoje apibendrinami tyrimų rezultatai ir pateiktos bendrosios išvados. Disertacijos tema paskelbta 10 straipsnių. Penki – recenzuojamose mokslo žurnaluose, penki – konferencijų medžiagose. Disertacijos tema perskaityti 9 pranešimai Lietuvos bei kitų šalių konferencijose.

# Abstract

The dissertation investigates business process with limited and shared resources modelling and simulation problem.

The dissertation consists of introduction, 4 chapters, general conclusions, a list of publications by author on the dissertation topic and summary in English.

The introduction reveals the investigated problem, importance of the thesis and the object of research and describes the purpose and tasks of the paper, research methodology, scientific novelty, the practical significance of results examined in the paper and defended statements. The introduction ends in presenting the author's publications on the subject of the defended dissertation, offering the material of made presentations in conferences and defining the structure of the dissertation.

Chapter 1 reviews business process modelling and simulation methods and tools. A comparison of business process simulation tools is proposed. There is presented an overview of the business process models suitability for simulation. Chapter presents the differences between the business process execution and simulation. The chapter ends with the conclusions.

Chapter 2 examines the resource modelling in business process models. Chapter discloses the processes of competition for resources problem. There are proposed the resource classification method. Types of concurrency in business processes are identified and described in this chapter. Concurrency for resources between business processes must be taken into consideration, as it affects the progress of a process or processes in the course of time.

Chapter 3 proposes a method for modelling and simulation of concurrent business processes or of a business process with shared resources. There are formulated requirements for resource modelling and simulation of business processes. There are proposed an approach for resource representation in business process models. The proposed method is intended to display resources with desired properties in a BP model easily understandable by business representatives.

Chapter 4 describes the experiments using the business process with shared resources modelling and simulation method. Experiments performed with real business processes showed that the simulation with shared resources provide results closer to observed in reality. The results are summarized in the third and fourth chapters and the final conclusions are given at the end of the work.

10 articles focusing on the subject of the discussed dissertation are published. Five – in peer-reviewed scientific journals, 5 – in refereed conference materials. 9 presentations on the subject have been given in conferences at national and international level.

---

# Žymėjimai

## Santrumpos

BPEL (angl. *Business process execution language*) – verslo procesų vykdymo kalba;

VPV – verslo procesų valdymas;

BPMN (angl. *Business process model and notation*) – verslo procesų modeliavimo kalba;

BPMS (angl. *Business process management system*) – verslo procesų valdymo sistema;

IS – informacinė sistema;

IT – informacinės technologijos;

ERP (angl. *Enterprise resource planning*) – įmonės išteklių planavimo sistema;

EPC (angl. *Event-driven process chain*) – įvykiais grįsta procesų grandinė;

DĮS – diskrečių įvykių simuliacija;

DBVS – duomenų bazių valdymo sistema;

VP – verslo procesas;

VT – veiklos taisyklės;

WfMC (angl. *Workflow Management Coalition*) – darbo srautų valdymo koalicija;

IDEF (angl. *Integration definition function modeling*) – modeliavimo kalbų rinkinys programinės inžinerijos srityje;

OMG (angl. *Object management group*) – objektų valdymo grupė skirta grafiniam projektavimui, vykdymui, programų valdymui. Tai yra, konsorciumas pradžioje buvo nukreiptas į standartų kūrimą išskirstytoms ir į objektus orientuotoms sistemoms. Šiuo metu jų pagrindinė tyrimų sritis modeliavimas ir modeliais grindžiami standartai;

OWL (angl. *The Web ontology language*) – ontologijų apibrėžimo ir atvaizdavimo kalba;

UML (angl. *Unified modelling language*) – modeliavimo ir specifikacijų kūrimo kalba;  
WES-BPEL (angl. *The web services business process execution language*) – standartinė vykdymo kalba;  
XML (angl. *Extensible markup language*) – rekomenduojama bendros paskirties duomenų struktūrų bei jų turinio aprašomoji kalba.



---

# Turinys

IVADAS .....	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	2
Darbo tikslas.....	2
Darbo uždaviniai .....	3
Tyrimų metodika .....	3
Darbo mokslinis naujumas .....	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė .....	4
Ginamieji teiginiai.....	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	4
Disertacijos struktūra.....	5
1. VERSLO PROCESŲ MODELIAVIMO IR SIMULIACIJOS ANALIZĖ .....	7
1.1. Verslo procesų ir jų modelių apžvalga .....	7
1.2. Verslo procesų valdymo disciplinuoto būdo apžvalga .....	10
1.3. Verslo proceso modelių tinkamumo simuliacijai apžvalga ir palyginimas .....	11
1.4. Verslo proceso vykdymo kalbų apžvalga .....	14
1.5. Verslo proceso simuliacijos metodų apžvalga ir palyginimas .....	17
1.6. Simuliacijos būdų apžvalga ir klasifikacija .....	19
1.7. Verslo proceso vykdymo ir simuliacijos panašumai ir skirtumai .....	21
1.8. Verslo procesų simuliacijos įrankių apžvalga ir jų tinkamumo įvertinimas.....	22

1.9. Simuliacinio modelio kūrimas.....	26
1.10. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	27
<b>2. VERSLO PROCESO SU BENDRAI NAUDOJAMAIŠ RIBOTAIS IŠTEKLIAIS MODELIAVIMAS IR SIMULIACIJA.....</b>	<b>29</b>
2.1. Išteklių modeliavimo verslo proceso modelyje problemos ir išteklių panaudojimas simuliacijoje .....	29
2.2. Konkuruojantys verslo procesai su ribotais ištekliais ir jų simuliacija.....	32
2.3. Konkuruojančių verslo procesų su ribotais ištekliais problematika versle .....	34
2.3.1. Planavimo ir plano sudarymo metodų apžvalga .....	35
2.3.2. Verslo procesų simuliacijos panaudojimo planavimui analizė .....	36
2.4. Antrojo skyriaus išvados .....	39
<b>3. KONKURUOJANČIŲ VERSLO PROCESŲ MODELIAVIMO IR SIMULIACIJOS METODAS .....</b>	<b>41</b>
3.1. Verslo proceso su bendrai naudojamais ištekliais simuliacijos metodo taikymas ir apribojimai .....	41
3.2. Informacinio ir materialaus srauto modeliavimas .....	42
3.3. Verslo proceso su bendrai naudojamais ištekliais simuliacijos metodo formulavimas .....	43
3.4. Išteklių modeliavimo savybės ir reikalavimai .....	45
3.5. Reikalavimai simuliacijos įrankiui .....	47
3.6. Išteklių grafinis modeliavimo metodas.....	53
3.7. Procesų konkurencija dėl išteklių ir veiklų planavimas.....	55
3.8. Trečiojo skyriaus išvados .....	58
<b>4. KONKURUOJANČIŲ VERSLO PROCESŲ MODELIAVIMO IR SIMULIACIJOS METODO EKSPERIMENTINIS TYRIMAS.....</b>	<b>61</b>
4.1. Verslo proceso simuliacijos kūrimas .....	61
4.2. Detalių gaminių paruošimo ir surinkimo simuliacija .....	63
4.3. Autocisternų pripylimo proceso simuliacija.....	74
4.4. Eksperimentų rezultatai ir metodo įvertinimas.....	87
4.5. Ketvirtąjo skyriaus išvados .....	88
<b>BENDROSIOS IŠVADOS .....</b>	<b>89</b>
<b>LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....</b>	<b>93</b>
<b>AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS ...</b>	<b>99</b>
<b>SUMMARY IN ENGLISH.....</b>	<b>101</b>
<b>PRIEDAI* .....</b>	<b>113</b>

---

\* Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.

A priedas Išteklių savybių aprašymo schema .....	113
B priedas. Bendraautorijų sutikimai teikti medžiagą disertacijoje .....	115
C priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos.....	123



---

# Contents

INTRODUCTION .....	1
Problem Formulation.....	1
Relevance of the Thesis.....	2
Object of Research .....	2
The Aim of the Thesis .....	2
Tasks of the Thesis .....	3
Research Methodology.....	3
Scientific Novelty of Thesis .....	3
Practical Value of the Research Findings.....	4
Defended Statements.....	4
Approval of the Research Findings .....	4
Structure of the Dissertation.....	5
1. ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES MODELLING AND SIMULATION .....	7
1.1. Business Process and their Models Overview .....	7
1.2. Business Process Management Review.....	10
1.3. Suitability of Business Process Model for Simulation .....	11
1.4. Overview of Business Process Execution Languages .....	14
1.5. Business Process Simulation Methods Review and Comparison .....	17
1.6. Simulation Methods Review and Classification.....	19
1.7. Similarities and Differences between Business Process Execution and Simulation.....	21

1.8. Business Process Simulation Tools Overview and Evaluation .....	22
1.9. Simulation Model Development.....	26
1.10. Conclusions of Chapter 1 and Formulation of the Tasks of Dissertation .....	27
<b>2. MODELLING AND SIMULATION OF BUSINESS PROCESS WITH SHARED AND LIMITED RESOURCES.....</b>	<b>29</b>
2.1. Issues of Resource Modeling in the Business Process Model and Simulation..	29
2.2. Competing Business Processes with Limited Resources and their Simulation .	32
2.3. Competing Business Processes with Limited Resources Issues in Business.....	34
2.3.1. Palnning Methods Review .....	35
2.3.2. Analysis of Business Process Simulation use for Planning .....	36
2.4. Conclusions of the Chapter .....	39
<b>3. METHOD FOR MODELLING AND SIMULATION OF CONCURRENT BUSINESS PROCESSES .....</b>	<b>41</b>
3.1. Application and Limitations of Business Process with Shared Resources Simulation Method .....	41
3.2. Modelling of Information and Material Flow.....	42
3.3. Formulation of Business Process with Shared Resources Simulation Method .	43
3.4. Characteristics and Requirements for Resource Modeling.....	45
3.5. Requirements for Simulation Engine .....	47
3.6. Graphical Resource Modeling Approach .....	53
3.7. Process Competition for Resources and Activities Planning.....	55
3.8. Conclusions of the Chapter .....	58
<b>4. EXPERIMENTAL STUDY ON CONCURRENT BUSINESS PROCESS MODELLING AND SIMULATION.....</b>	<b>61</b>
4.1. Development of Business Process Simulation .....	61
4.2. Parts Preparation and Assembly Simulation .....	63
4.3. Tank Truck Loading Process Simulation .....	75
4.4. Experimental Results and Evaluation.....	87
4.5. Conclusions of the Chapter .....	89
<b>GENERAL CONCLUSIONS .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>93</b>
<b>LIST OF PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION .....</b>	<b>99</b>
<b>SUMMARY IN ENGLISH.....</b>	<b>101</b>
<b>ANNEXES* .....</b>	<b>113</b>

---

\* The annexes are supplied in the enclosed compact disk.

Annex A. Resource Description Schema .....	113
Annex B. The Co-authors Agreements to Present Publication.....	115
Annex C. Copies of Author Scientific Publications on the Subject of Dissertations.....	123





---

# Ivadas

## Problemos formulavimas

Šiuolaikiniame verslo pasaulyje įmonių sėkmė vis labiau priklauso nuo jų gebėjimo naudoti žinias, tame tarpe ir išreikštas veiklos taisyklėmis (VT), bei greitai ir lanksčiai reaguoti į besikeičiantį kontekstą, t. y. į pokyčius įmonės viduje ir jos aplinkoje. Šiuo metu naudojami ir informacinėse sistemose automatizuojami statiniai verslo procesai (VP) ir jų modeliai daugiau nebetenkina dinamiškai besikeičiančio ir tikslu grindžiamo verslo, nes pokyčių įgyvendinimas trunka per ilgai ir verslo sistema negali per priimtina laiką prisitaikyti prie netikėtų išimčių. Be to, moderniam verslui, kuris nuolat prisitaiko prie vartotojų poreikių ir konteksto pokyčių bei siekia pastoviai augančio efektyvumo, reikia atsakymų į aktualų klausimą „kas bus, jeigu ..?“. Šioms problemoms spręsti pasitelkiamos informacinės technologijos (IT) ir siūlomi jomis paremti nauji būdai. Vienas iš tokių būdų yra VP simuliacija.

Plačiai naudojamos verslo procesų valdymo sistemos palaiko verslo procesų modeliavimą naudojant VP modeliavimo kalbas, tokių modelių vykdymą, tačiau kai reikia verslo procesą simuliuoti susiduriama su problemomis. VP simuliacijos įrankiai neatsižvelgia į išteklių ribotumą ir jų bendrą naudojamą, o VP modeliavimo priemonės nepakankamai palaiko išteklių modeliavimą verslo procesų mo-

deliuose. Iš to seka, kad VP analizė naudojant verslo proceso simuliacijos rezultatus bus netiksli, nes VP simuliacijos metu nebuvo pakankamai atsižvelgta į išteklius, todėl bus sudėtinga daryti išvadas remiantis tokios simuliacijos rezultatais, o padarytos išvados ir VP pakeitimai neduos laukto rezultato realybėje.

Visoms VP vykdomoms veikloms gali pritrūkti išteklių, kadangi ištekliai yra riboti. Vienas iš būdų paskirstyti šiuos išteklius yra jų bendras naudojimas procesuose. Bendras naudojimas šiame darbe suprantamas kaip išteklių naudojimas keliose proceso veiklose vienu metu ar veiklos, naudojančios išteklių, pertraukimas, tam, kad išteklių būtų galima panaudoti kitoje veikloje, kuri to laiko momentu yra svarbesnė verslui. Šiame darbe sprendžiama problema yra susijusi su VP naudojančių išteklius modeliavimu ir tokių VP simuliacija atsižvelgiant į išteklių ribotumą ir jų bendrą naudojimą.

## **Darbo aktualumas**

Verslo įmonės ieško naujų galimybių panaudoti IT įrankius, kad pasiektų didesnę pelną ar optimizuotą veiklą. Norint pasiekti didesnę verslo procesų našumą, verslo procesai turi būti nuolat tobulinami ir keičiami, tam galima panaudoti verslo procesų simuliaciją. Verslo procesų simuliacija leidžia atlikti simuliaciją su pakeistais procesais ir gauti rezultatus prieš verslo proceso įgyvendinimą tikroje verslo aplinkoje. Tačiau verslo procesų simuliacija, panaudojant verslo procesų modelius, yra pakankamai naujas būdas, todėl nėra išspręstos visos problemos. Viena iš tokių problemų yra išteklių aspekto modeliavimas. Ištekliai versle ir verslo procesuose yra riboti, o verslo procesų simuliacijos priemonėse yra nepakankamai realizuotas ribotų ir bendrai naudojamų išteklių modeliavimas ir simuliacija. Darbe pasiūlomas išteklių modeliavimo būdas verslo proceso modeliuose ir metodas skirtas verslo procesų su ribotais ir bendrai naudojamais ištekliais modeliavimui ir simuliacijai.

## **Tyrimų objektas**

Darbo tyrimų objektas yra verslo procesų su bendrai naudojamais ir ribotais ištekliais modeliavimas ir simuliacija.

## **Darbo tikslas**

Išvystyti verslo taisyklėmis grindžiamų verslo procesų su ribotais ir bendrai naudojamais ištekliais modeliavimo bei simuliacijos metodus.

## Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti buvo iškelti šie uždaviniai:

1. Atlikti su verslo procesų modeliavimo ir simuliacijos metodais susijusios literatūros, taip pat verslo procesų simuliacijos priemonių, analizę bei išnagrinėti verslo taisyklėmis grindžiamų verslo procesų su ribotais ir bendrai naudojamais ištekliais modeliavimo ir simuliacijos metodus.
2. Pasiūlyti, kaip išplėsti egzistuojančius modeliavimo ir simuliacijos metodus ir jais grindžiamas priemones tam, kad verslo proceso modelyje būtų galima specifiškai ribotus ir bendrai naudojamus išteklius ir simuliacija tai įvertinti.
3. Atlikti eksperimentinį tyrimą, naudojant pasiūlytą verslo proceso su bendrai naudojamais ištekliais simuliacijos metodą ir nustatyti, ar pasiūlytas metodas įgyvendinamas ir tinkamas tikslui pasiekti.

## Tyrimų metodika

Darbe analizei atlikti pritaikyti informacijos paieškos, analizės, sisteminimo, lyginamosios analizės, struktūrinės analizės bei apibendrinimo metodai. Žiniomis grindžiamų VP modelių sudarymui naudojami koncepcinio modeliavimo, sisteminės procesų analizės, procesų inžinerijos ir simuliacijos metodai. Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojami kiekybinio vertinimo, ekspertinio vertinimo, apibendrinimo bei lyginamosios analizės metodai.

## Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie informatikos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Pasiūlytas naujas metodas skirtas verslo procesų su ribotais ir bendrais naudojamais ištekliais simuliacijai. Simuliacijos rezultatai panaudojami verslo proceso išteklių planavimui. Metodas grindžiamas tuo, kad verslo proceso modelyje atvaizduojamas darbų srautas, šis modelis patikrinamas, kitam etape veikloms priskiriami ištekliai ir tokio modelio pagrindu kuriamas simuliacinis modelis.

2. Pasiūlytas metodas išteklių modeliavimui grafiniame verslo proceso modelyje. Pasiūlytas būdas leidžia matyti VP naudojamus išteklius VP modelyje, o tai palengvina modelio patikrinimą.
3. Suformuluoti ribotų išteklių modeliavimo reikalavimai ir simuliacijos įrankio reikalavimai skirti verslo procesų su ribotais ir bendrai naudojamais ištekliais simuliacijai arba konkuruojančių dėl išteklių verslo procesų simuliacijai.

## **Darbo rezultatų praktinė reikšmė**

Tyrimų rezultatai buvo panaudoti naftos produktų terminalo procesams modeliuoti ir simuliuoti. Metodas gali būti pritaikomas verslo procesams, kuriuose vyksta konkurencija dėl išteklių, modeliuoti ir simuliuoti. Pasiūlytas metodas buvo pritaikytas autocisternų pylimo proceso modeliavimui ir simuliacijai. Verslo proceso simuliacijos rezultatai parodė, kad nagrinėjamą procesą galima optimizuoti keičiant bendrai naudojamų išteklių paskirstymą tarp vykstančių veiklų. Darbe pasiūlytas metodas buvo panaudotas praktikoje ir jo rezultatai įdiegti realiaje VP. Patobulinus realiai vykstantį procesą, padidėjo autocisternų aptarnavimo greitis. Taip pat įmonėje panaudotas šiame darbe pasiūlytas grafinis išteklių modeliavimo būdas. Tai leido vartotojams patikrinti VP modelį ir tinkamai aprašyti išteklius ir jų savybes, o tai palengvino simuliacijos kūrimą.

## **Ginamieji teiginiai**

1. Darbe pasiūlytas išteklių specifikavimo verslo procesų modeliuose metodas užtikrina proceso simuliacijai reikalingų parametrų nustatymą ir išgryninimą.
2. Pasiūlytas veiklos procesų su bendrai naudojamais ištekliais modeliavimo ir simuliacijos metodas, kuris realizuotas simuliacijos priemonėje DBsim, leidžia įvertinti realiai vykstančio veiklos proceso trukmę su 10 % tikslumu.

## **Darbo rezultatų aprobavimas**

Disertacijos tema yra atspausdinta 10 straipsnių: 5 straipsniai tarptautinėse duomenų bazėse esančiuose mokslo leidiniuose, 4 straipsniai paskelbti kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose ir 1 straipsnis paskelbtas nerecenzuojamame leidinyje.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo pristatyti 9 konferencijose:

- 29-oje Europos simuliacijos ir modeliavimo konferencijoje – Modelling and Simulation'2015 – ESM'2015, Lesteris, Jungtinė Karalystė, 2015.
- 17-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija Informatika. Informacinės sistemos ir technologijos, Vilnius, 2014.
- 5-ajame tarptautiniame seminare „Duomenų analizės metodai programų sistemoms“, Druskininkai, 2013.
- XVI kompiuterininkų konferencijoje, Lietuvos kompiuterininkų sąjunga, Šiauliai, 2013.
- 14-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius, 2012.
- 8-oje mokslinėje konferencijoje „Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje“, Klaipėda, 2012.
- 13-oje Respublikinėje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Fundamentiniai tyrimai ir inovacijos mokslų sandūroje“, Klaipėda, 2011.
- 7-oje mokslinėje konferencijoje „Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje“, Klaipėda, 2010.
- 12-oje Respublikinėje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Fundamentiniai tyrimai ir inovacijos mokslų sandūroje“, Klaipėda, 2010.

## **Disertacijos struktūra**

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir bendrosios išvados. Taip pat yra 3 priedai. Darbo apimtis yra 100 puslapių, neskaitant priedų, tekste panaudoti: 31 paveikslas ir 24 lentelės.



---

## Verslo procesų modeliavimo ir simuliacijos analizė

Skyriuje analizuojami VP modeliavimo kalbos, VP simuliacijos būdai. Atliekamas VP modeliavimo, vykdymo ir simuliacijos palyginimas, taip pat atskleidžiami pagrindiniai skirtumai. Atlikta simuliacijos įrankių analizė ir palyginimas. Nustatyti egzistuojančių įrankių trūkumai. Dalis skyriaus medžiagos pristatyta (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2012) (Vasilecas, Šmaižys, Rima 2013a) (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2013b) (Raudonius, Vasilecas, Šmaižys, Rima 2012) straipsniuose.

### 1.1. Verslo procesų ir jų modelių apžvalga

Davenport ir Short (1990) verslo procesus apibrėžia kaip rinkinį logiškai susijusių užduočių, kurios naudojamos verslo rezultatams pasiekti. Procesas tų pačių autorių (Davenport & Short, 1990) apibrėžiamas kaip struktūrizuota, pamatuojama aibė veiklų skirtų pagaminti nurodytą išėigą konkrečiam pirkėjui ar rinkai. Darbe naudojamas verslo proceso (angl. *Business Process*) apibrėžimas – tai rinkinys tarpusavyje susijusių, struktūrizuotų veiklų ar užduočių. Dažnai verslo procesai vaizduojami srautų diagramomis (angl. *flowchart*) kaip veiklų seka (YAWL, 2012).

Kitas literatūroje sutinkamas verslo proceso apibrėžimas yra nuosekli procedūra transformuojanti VP įeigą į norimą VP išeigą, vartojanti ar kitaip naudojanti išteklius (Schmidt & Braun, 2005). Verslo procesas turi tam tikrą rezultatą (baigtį), t. y. prekės ar paslaugos pateikiamos vienam ar daugiau klientų, kurie gali būti įmonės vidiniai arba išoriniai klientai.

Darbo srautų valdymo koalicijos (angl. *Workflow Management Coalition*, toliau WfMC) pasiūlytas žodynas (Workflow Management Coalition, 1999) procesą apibrėžia kaip rinkinį vienos ar daugiau susijusių procedūrų ar veiklų, kurios bendrai realizuoja verslo ar politikos tikslą, organizacinės struktūros funkcinis vaidmenis ir jų tarpusavio santykius. Pagal WfMC verslo procesas pilnai arba dalinai automatizuojamas. Automatizavimas apibrėžiamas proceso apibrėžime (angl. *Process Definition*). Proceso apibrėžimas nustato įvairias proceso veiklas, procedūrinės taisyklės ir susijusius kontrolinius duomenis naudojamus valdyti vykstantį darbo srautą.

Verslo proceso projektavimas ir įgyvendinimas programų sistemoje reikalauja daug pastangų ir žinių. Ši veikla dažniausiai įtraukia tris žmonių grupes (Brahe & Bordbar, 2011):

- verslo analitiką, kuris aprašo ir modeliuoja konkretų darbinį procesą sutelkdamas dėmesį į verslo aspektą;
- sprendimo architektas – susieja verslo proceso su informacinių technologijų infrastruktūra, tuo pačiu perdarydamas verslo analitiko sukurtą modelį į architektūros modelį;
- sistemos kūrėjas perkuria modelį į vykdomą sistemą ir kodą.

Gilinantį verslo procesus, svarbu suprasti skirtumą tarp procesų ir funkcijų. Haapaniemi (1998) teigimu „funkcija atliekama, tuomet, kai grupė žmonių atlieka panašias užduotis. Tuo tarpu procesas apima keletą skirtingų užduočių, proceso išeigos kūrimo dalyvauja skirtingi organizacijos padaliniai. Produkto kūrimo procese atliekamos medžiagų pirkimo, surinkimo, testavimo ir kitos funkcijos“ (Haapaniemi, 1998). Atsižvelgus į tai galime teigti, kad proceso veiklos gali būti pavadintos funkcijomis, todėl procesas sudaromas iš keleto skirtingų funkcijų, kurios atliekamos su proceso srautu.

Verslo procesai būna skirtingų tipų. Straipsnyje Rummler ir Brache išskiria tris verslo procesų tipus (Rummler, 1995):

- valdymo procesai (angl. *management processes*): kurie reglamentuoja verslo sistemos veikimą. Tipiniai valdymo procesai apima įmonės valdymą, strategijos valdymą;
- vykdomieji procesai (angl. *operational processes*): kurie sudaro pagrindinę verslo dalį ir sukuria pirminę vertę (angl. *primary value*). Tokie procesai yra: įsigijimas, gamyba, reklama, rinkodara ir pardavimai;



- palaikymo procesai (angl. *supporting processes*): kurie palaiko pagrindinius verslo procesus. Pavyzdžiui, apima apskaitą, įdarbinimą, skambučių centrą, techninio palaikymo centrą.

Vienas iš požiūrių į verslo procesą yra darbo srautų technologijos. Teigiama, kad dabartinis požiūris į verslo procesus išsivystė iš darbų srautų technologijos. Darbo srautų valdymo koalicija (angl. *Workflow Management Coalition*) pirmą kartą 1995 metais publikavo darbo srautų dokumentą – darbo srautų šabloninį modelį (angl. *The Workflow Reference Model*). Šio dokumento tikslas buvo aprašyti pasiūlymus darbo srautais grindžiamų sistemų kūrimui. Dokumentas numato bendrą savybių (angl. *reference*) modelį darbo srautų valdymo sistemoms, apibrėžia jų charakteristikas, terminus ir komponentus, leidžia plėtoti individualias specifikacijas atsižvelgiant į darbo srauto sistemos visumą. Šio dokumento pasakelbimą galima laikyti darbo srautų grindžiamų sistemų atsiradimo pradžia. Darbo srautų valdymo koalicija darbo srautą apibrėžia (Hollingsworth, 1994) kaip suprastintą kodą, kuris realizuoja verslo proceso IS. Kitas apibrėžimas pateikiamas straipsnyje (Brahe, 2007): programa, kuri gali koordinuoti ir kontroliuoti skirtingas užduotis, kurios ir sudaro verslo procesą. Darbų srautų valdymui naudojamos darbų srautų valdymo sistemos (angl. *workflow management systems*). Darbo srautų valdymo sistema, tai sistema, kuri visiškai apibrėžia, valdo ir vykdo darbo srautus, naudojant programinę įrangą kuri grindžiama darbo srauto logikos atvaizdavimu kompiuteryje (Workflow Management Coalition, 1999).

Dauguma šiuolaikinių verslo procesų valdymo sistemų kilo iš darbo srautų valdymo įrankių. Verslo procesas darbo srautų technologijos požiūriu atvaizduoja realaus pasaulio veiklų seką, kurios dažniausiai vyksta organizacijoje (Petkov, Oren, & Haller, 2005). Nustatomas planas, kuriame apibrėžiama kaip verslo procesas turi būti vykdomas, kuris dar vadinamas proceso apibrėžimu. Planas išvardija žingsnius, kurie turi būti įvykdyti. Šie žingsniai sudaro vieną rankinę neautomatizuotą veiklą (atliekamą rankiniu būdu) arba automatizuotas veiklas (atliekamos sistemos).

Dažnai darbo srautas ir verslo procesas yra painiojami dėl panašių apibrėžimų ir panašaus naudojimo specifikos, todėl mokslinėje literatūroje plačiai diskutuojama kas yra darbo srautas (angl. *workflow*) ir kuo jis skiriasi nuo verslo proceso. Iš vienos perspektyvos teigiama, kad darbo srautas yra automatizuotas verslo procesas arba dalinai automatizuotas verslo procesas informacinėje sistemoje. Kitas požiūris teigia, kad verslo procesų valdymo dalis yra darbo srautai. Galima teigti, kad darbo srautas yra vienas iš būdų įgyvendinti verslo procesą, kur verslo procesų valdymas yra susijęs su darbo srauto valdymu. Tačiau darbo srautas skiriasi nuo verslo procesų valdymo, todėl negalime teigti, kad šie požiūriai yra vienodi. Darbo srautų sprendimai yra paprasto maršruto automatizavimas iš vieno taško ar vykdytojo prie kito (Colin Spence, 2011). Verslo procesų valdymo sprendimai

koordinuoja paprastus ar sudėtingus procesus (užduotis, veiklas, ar duomenų pasidalinimą) tarp žmonių ir sistemų ir apima daugiau kintamųjų ir logikos.

Darbo srautas yra specifinis proceso atvaizdavimas, kuris suprojektuotas taip, kad formalūs koordinavimo mechanizmai tarp veiklų, dalykinių programų ir proceso dalyvių gali būti kontroliuojami IS, kuri dar vadinama darbo srautų valdymo sistema (Muehlen M. z., 2002).

Iš pateiktų darbo srauto apibrėžimų matome, kad jis yra verslo proceso dalis arba visas verslo procesas įgyvendintas programų sistemoje. Paprastai darbo srautai realizuoti PS susiję su informacijos apdorojimu ir yra automatizuota dalis VP verslo sistemoje.

Apibendrinat surinktus verslo proceso apibrėžimus galima teigti, kad VP sudaro susijusių veiklų seką bei turi tikslą, t. y. sukurti išėigą, kuri gali būti materialinė (pagamintas produktas) tiek nemateriali (suteiktos paslaugos). Šiame darbe verslo procesas apibrėžiamas kaip veiklų seka, kuri transformuoja įėigą į išėigą panaudojant išteklius. Ištekliai gali būti įrenginiai, žmonės, energetiniai ir pan. VP įėiga – užsakymai, išėiga pagamintas produktas, aptarnautas klientas ir kt.

## **1.2. Verslo procesų valdymo disciplinuoto būdo apžvalga**

VPV apibrėžiamas kaip „verslo procesų valdymo būdas naudojantis metodais, technikomis ir programine įranga, kad būtų galima suprojektuoti, įgyvendinti, kontroliuoti ir analizuoti verslo procesus, kuriuose dalyvauja žmonės, organizacijos, programos, dokumentai ir kiti informacijos šaltiniai“ (Ko, Lee, & Lee, 2009). Verslo procesų valdymas yra koncepcija, kuria siekiama verslo inovatyvumo ir veiklos optimizavimo įgyvendinant verslo strategiją modeliuojant, simuliuojant, kuriant, diegiant ir valdant verslo procesus per visą jų gyvavimo ciklą. VPV apjungia verslo procesus, informaciją, informacinių technologijų išteklius, suderina organizacijos kertinius aktyvus (žmones, informaciją, technologijas ir procesus) tam, kad sukurtų vientisą realaus laiko analitinį verslo matavimų ir informacinių technologijų sistemų efektyvumo vaizdą. Požiūrio gyvavimo cikle išskiriami keturi pagrindiniai žingsniai: modeliavimas, kūrimas, diegimas, valdymas (Changrui, 2008).

Taip pat reikia paminėti, kad verslo procesų valdymas dažnai yra tapatinamas su programų sistemomis, leidžiančiomis modeliuoti, simuliuoti ir automatizuoti verslo procesus, t. y. juos įvykdyti, stebėti tų procesų vykimą. Šios programų sistemos leidžia kurti verslo procesais grindžiamas informacines sistemas (Hammer, 2009). Teigiama, kad verslo procesų valdymas leidžia organizacijoms tapti efektyviomis, produktyvesnėmis ir sugebančiomis prisitaikyti prie aplinkos pokyčių.

Iš to seka, kad verslo procesų valdymas sudaro įmonėms palankias veiklos efektyvumo didinimo galimybes.

VPV gyvavimo ciklo vienas iš etapų yra optimizavimas. Optimizuoti procesą galima ir modeliavimo metu, t. y. pakeičiant struktūrą arba/ir veiklų seką. Restruktūrizuojant, paprastai pakeičiama VP logika, tačiau neatsižvelgiama į procesų kontekstą, kuris suprantamas kaip išoriniai (pvz. išorės teikiami energetiniai ištekliai bei išorėje esantys išteklių šaltiniai) ir vidiniai ištekliai (pvz. naudojamos žaliavos, įrenginiai) panaudojimą. Ši problema realiame pasaulyje gali būti sprendžiama po VP įvykdymo, t. y. jau turint informaciją apie sunaudotus išteklius ir VP išeigą. Tačiau toks būdas nėra efektyvus, nes neįmanoma išbandyti visų galimų scenarijų ir kartais toks būdas tiesiog per brangus. Todėl pasitelkiami kiti būdai, kurių vienas yra simuliuoti VP. Tačiau norint simuliuoti VP reikia sukurti simuliacijai pritaikytą VP modelį arba trumpiau simuliacinį VP modelį.

Pažvelgus iš kitos pusės, verslo procesų keitimas gali atnešti ir neigiamų pasekmių. Radikaliai keičiant verslo procesus yra labai sudėtinga prognozuoti veiklos efektyvumo rodiklių pokyčius ir jų atitikimą įmonės keliamiems tikslams. Tai pasireiškia tuo, jog verslo procesai yra sudėtingi ir kintantys laike, todėl aukščiausio lygio vadovai įmonėje vykdomus procesus gali suvokti klaidingai ar neatsižvelgti į visus, procesą įtakančius, veiksnius.

### **1.3. Verslo proceso modelių tinkamumo simuliacijai apžvalga ir palyginimas**

Modelis – pagrindinės realios sistemos išraiška, kuri tam tikru būdu atspindi sistemos funkcionavimą ir padeda ją tirti. Joks modelis nėra tikslus ir išsamus sistemos aprašymas. Jis tik imituoja jos kūrėją dominančią sistemos elgseną.

Verslo procesų valdyje yra naudojama daug skirtingų notacijų, kurios vienaip ar kitaip apibrėžia verslo procesus, jų veiklas, veiklų srauto eigą ir eigos logiką.

Proceso modeliai konstruojami naudojant modeliavimo kalbas, kurios dar gali būti vadinamos technikomis ar notacijomis. Dauguma kalbų procesus vaizduoja kaip procedūrinius modelius, taip sutelkiamas dėmesys išreiškiant veiklas pažingsniui, kurios turi būti atliekamos norint pasiekti norimą rezultatą (verslo proceso tikslą).

Procesai modeliuojami paprastai šiems tikslams: mechanizmo poveikiui tirti (pažinimo tikslas) ir objektui valdyti. Abiem atvejais modelis kuriamas turint tikslą nustatyti reikiamas objekto charakteristikas ir signalus (Denisovas, 2000).

Verslo procesų modeliavimas – tai organizacijos procesų atvaizdavimas programinės įrangos pagalba, t. y. struktūrizuotas metodas, kuris padeda organi-

zacijai analizuoti procesus ir nustatyti esamus trūkumus bei galimus patobulinius. Verslo procesai gali būti modeliuojami dėl keleto priežasčių: veiklos dokumentavimo, standartizavimo, procesų perkūrimo, optimizavimo. Nesvarbu kokių tikslu procesai modeliuojami, visais atvejais galutinis rezultatas išlieka vienodas – verslo procesų modelis pasirinktu formatu. Tinkamai sumodeliuotas verslo procesas yra būtina sąlyga efektyviam verslo procesų valdymui. Esant poreikiui, verslo procesų modelis gali būti praplėstas kitais modeliais reikalingais iškeltam tikslui pasiekti. Pavyzdžiui, tikslų modeliui, nusakančiu kokius organizacijos tikslus realizuoja atitinkami verslo procesai bei organizacijos struktūros modeliui, nusakančiu vidines pareigybes ir nustatančiu, kokia pareigybė už kurį procesą yra atsakinga.

Verslo procesas yra susijusių, struktūrizuotų užduočių arba veiklų rinkinys, teikiantis paslaugą arba gaminantis produktą (skirtas konkrečiam tikslui) konkrečiam užsakovui ar užsakovams (vidiniams ar išoriniams). Jis griežtai nurodo, kaip vykdomas darbas organizacijoje. Pagal Zachmano karkasą, verslo procesų modelis yra priskiriamas įmonės modeliui, kuris modeliuojamas pagal verslo savininko požiūrį (Vasilecas, 2008).

Procesas turi veiklų seką laiko atžvilgiu ir erdvėje su pradžia ir pabaiga bei aiškiai apibrėžtomis įvestimi ir išvestimi. Verslo procesas turi turėti aiškiai apibrėžtą tikslą. Tai yra priežastis, dėl kurios įmonė vykdo savo veiklą, todėl būtinas verslo proceso aprašymas, kokią naudą duos procesas, ar kokius poreikius patenkins.

Verslo procesas naudoja informaciją pritaikyti ar vykdyti savo veiklą. Informacija, skirtingai nei ištekliai, proceso metu nėra naudojama. Ji retais atvejais gali būti naudojama transformacijos procesui. Proceso formavimo metu informacija gali būti gaunama iš išorės šaltinių, iš klientų, iš vidaus organizacijos vienetų arba gali būti kitų procesų produktas.

Verslo procesas paprastai pateikia vieną ar daugiau išvesčių verslo vidiniam naudojimui, arba išorės poreikiams patenkinti. Išvestimi gali būti fizinis objektas (ataskaita, sąskaita), žaliavų, išteklių transformacija į naują tvarką (dienotvarkė, grafikas) arba bendras verslo rezultatas kaip užsakymo pabaiga. Vieno proceso rezultatas gali būti įtrauktas į kitą procesą kaip prašomas elementas arba triggeris pradėti naują procesą.

Ištekliai yra verslo proceso įeiga ir, skirtingai nei informacija, yra sunaudojami perdirbimui (Systems, 2004). Tačiau ne visi ištekliai yra naudojami kaip įeiga, kai kurie ištekliai atlieka proceso veiklas.

Verslo procesų modeliai turi hierarchinę struktūrą. Šios struktūros koncepciją puikiai perteikia (Kwan Hee *et al.* 2009) koncepcinis modelis, kurio aukščiausiam lygmenyje stovi organizacija kaip visuma. Organizacija yra sudaryta iš jos viduje vykstančių, vykdomų procesų, o jie savo ruožtu gali būti detalizuoti į subprocesus. Procesų ir subprocesų atskyrimas žymi skirtingus abstrakcijos lygmenis

ir yra naudojamas tam, kad procesus būtų lengviau suprasti ir procesai nebūtų sudėtingai pavaizduoti. Dėl išvardintų priežasčių jie ir yra išskaidomi į skirtingus abstrakcijos lygmenis. Galutiniame procesų modelio hierarchijos lygmenyje procesai išskaidomi į juose vykdomas veiklas ir šių veiklų tarpusavio sąryšius.

Norint aiškiai ir suprantamai dokumentuoti organizacijose vykdomus verslo procesus, reikia naudoti visiems verslo dalyviams aiškią žymėjimo sistemą, kuria naudojantis būtų galima paprastai ir aiškiai modeliuoti versle vykdomus procesus. Toliau apžvelgsime populiariausias naudojamas kalbas procesams modeliuoti.

Modeliavimo ir specifikacijų kūrimo kalba arba unifikuota modeliavimo kalba (angl. *Unified Modeling Language*, toliau tekste naudojama UML) kurta atvaizduoti programų sistemas ir nėra tiesiogiai skirta modeliuoti verslo procesams. Tačiau UML yra lanksti ir gali būti adaptuota keletui skirtingų sričių. Verslo procesai gali būti modeliuojami pasinaudojant veiklos diagramomis (Ko, Lee, & Lee, 2009). Taip pat verslo procesams modeliuoti naudojamos ir panaudos atvejų diagramos, tačiau jos paprastai apima tik vieną ar keletą funkcijų ir neatvaizduoja vykdymo srauto. UML veiklų diagramos labiau tinkamos darbo srautui realizuoti, ir kaip minėta aukščiau, kad darbo srautas yra realizacija informacinėse sistemose, todėl UML tinkamas tik tam tikrai daliai verslo procesų modeliuoti. Kadangi UML pirmiausia buvo skirta programų sistemų modeliavimui, čia išteklų aspektas nėra pakankamai realizuotas ir nėra pakankamai išplėtos galimybės juos išsamiai modeliuoti. Pavyzdžiui, panaudos atvejų diagramoje galima modeliuoti tik veiklas atliekančius dalyvius ir pavaizduoti sistemą, kurioje veikla atliekama, tačiau šių išteklių savybės neaprašomos.

Verslo procesų modelis ir notacija (angl. *Business Process Model and Notation*; toliau tekste naudojama BPMN) yra grafinė verslo procesų specifikavimo notacija. Šiuo metu aktuali BPMN versija yra 2.0. BPMN vystymu užsiima objektų valdymo grupė (angl. *Object Management Group*). Paskutiniu metu ši notacija jau palaikoma daugelio programinės įrangos gamintojų, kurie gamina produktus grindžiamus verslo proceso požiūriu.

Pagrindinis BPMN sukūrimo tikslas – standartizuota notacija, lengvai suprantama verslo procesų analitikams, kurie užsiima verslo procesų vystymu; sistemų projektuotojams, kurie procesus diegia informacinėse sistemose; taip pat tiems (dažniausia verslo valdytojams), kurie atlieka procesų stebėjimą ir valdymą.

BPMN palengvina žmonėms iš skirtingų įmonių ir sričių perprasti verslo procesus, sujungti verslus, ar juos suskaidyti į atskirus. BPMN standartas padeda išsiaiškinti visiškai skirtingų verslo procesų gyvavimo ciklą nuo sukūrimo iki vystymo, realizavimo, vykdymo, analizavimo. BPMN leidžia specifikuoti tiek organizacijos vidinius, tiek bendradarbiaujančių organizacijų verslo procesus, taip pat galimybę atvaizduoti bendradarbiavimą ir transakcijas tarp organizacijų. BPMN standartas leidžia numatyti galimas gyvavimo ciklo eigos išimtis, klaidas. Naudojant šį standartą patogiu aprašyti verslo taisykles, ciklus, sprendimų taškus,

triggerius. BPMN modeliavimas apima proceso eigos tam tikroje užduočių sekoje aprašymą.

Įvykiais pagrįsta proceso grandinė (angl. *event-driven process chain*, toliau tekste naudojama EPC) – buvo sukurta 1992 m. ir yra viena iš svarbesnių SAP R/3 koncepcijos dalių. Įvykiais grindžiamas procesų modeliavimo metodas, kuris leidžia aprašyti ir pavaizduoti organizaciją skirtingais aspektais, ir nustatyti skirtingų modelių ryšį. EPC diagramas galima naudoti kaip informaciją modeliuojant SAP R/3 sistemas. (Scheer A.W., 2005). Tačiau EPC nėra plačiai paplitusi ir atsiradus BPMN, verslo procesams specifikuoti dažniau naudojama pastaroji notacija.

Aukščiau išanalizavome verslo procesų modeliavimo kalbas. Siekiama, kad simuliacijai būtų galima pritaikyti tuos pačius VP modelius, kurie jau yra sukurti ir suprantami verslo atstovams. Kuriant procesų simuliaciją dažnai modeliai yra kuriami iš naujo. Nekuriant verslo proceso modelio iš naujo gali būti supaprastinamas simuliacijos kūrimo procesas, tuo pačiu galima lengviau reaguoti į pokyčius, t. y. pakeitus verslo procesą ir jo modelį, galima lengviau pakeisti simuliacijos modelį. Vis dėlto, ne visos verslo procesų modeliavimo kalbos pritaikomos simuliacijai. Atlikus analizę nustatyta, kad VP simuliacijai tinkamiausia BPMN, nes notacija plačiai naudojama modeliuoti verslo procesams, atspindi daugiausia verslo sistemos aspektų, kurie pristatyti straipsnyje (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2013c), yra suprantama verslo atstovams, naudojama VPV sistemose, todėl modeliai gali būti panaudoti simuliacijoje. UML yra skirta modeliuoti programų sistemas ir verslo procesų modeliavimui pritaikoma tik iš dalies ir mokslinėje literatūroje sutinkama mažai pavyzdžių apie simuliaciją VP apibrėžtų UML. EPC buvo sukurtas kaip vieno gamintojo kalba, todėl nėra plačiai paplitusi, nors ir esama pritaikymų simuliacijai.

## 1.4. Verslo proceso vykdymo kalbų apžvalga

Daugelis mokslinės literatūros verslo procesus susieja su žiniatinklio paslaugomis (angl. *web-service*) ir verslo procesus bandoma pilnai automatizuoti naudojant žiniatinklio paslaugas. Be to, dažnai nagrinėjami tik tie procesai, kurie gali būti pilnai automatizuojami. Žiniatinklio paslaugos yra dalykinė programa, kuri per tinklą priima XML formato užklausas iš kitų sistemų. Rinkoje egzistuoja keletas žiniatinklio paslaugų specifikacijų, tokių kaip BPEL4WS (angl. *Business Process Execution Language for Web Services*), WSCI (angl. *Web Service Choreography Interface*), BPML (angl. *Business Process Modeling Language*). Viena iš žinomesnių verslo procesų vykdymui naudojamų kalbų yra BPEL. Prieš atsirandant BPEL buvo keletas pasiūlymų supaprastinti verslo proceso vykdymą. Vienas iš jų plėtinys programavimo kalbos (Ko, Lee, & Lee, 2009) – po dominavimo darbo

srautų valdymo, daugelis programavimo kalbų pradėjo prisitaikyti prie žiniatinklio paslaugų. Akivaizdus pavyzdys būtų jBPM (Java Business Process Management), kuri yra palaikoma daugelio Java sistemų, tokių kaip JBOSS bendruomenės. Iš čia seka problemos ir apribojimai, kuriuos iš programavimo kalbų paveldėjo tokie verslo procesų projektai. Pavyzdžiui, siekiant susieti su kitomis kalbomis verslo procesų plėtinį, reikia sukurti sąsajas, kurios dažnai nėra dinamiškos, keičiamos ir lengvai valdomos. Kitas siūlymas, žiniatinklio paslaugomis grindžiami pasiūlymai.

Žiniatinklio paslaugos ir paslaugomis grindžiama architektūra (angl. *Service Oriented Architecture*, toliau SOA) yra labiau susijusios. SOA yra architektūra, kuri dalinai palaiko ir daugkartinio naudojimo sistemas. Straipsnyje aprašoma partitis pritaikyta VPV ir SOA (Brahe, 2007).

Funkcionalumas verslo dalykinės programoms įtraukiamas į žiniatinklio paslaugas: programinės įrangos komponentuose aprašytas semantinis lygis, kuris gali būti iškviečiamas dalykinės programos ar kitų paslaugų per interneto standartus HTTP XML, SOAP, WSDL ir UDDI. Įdiegtos žiniatinklio paslaugos teikiamos įvairių įmonių ir organizacijų gali būti naudojamos tarpusavio IS sujungimui. Taip siekiama įgyvendinti verslo bendradarbiavimą per sudėtingas žiniatinklio paslaugas (pvz. orkestracija ir choreografija) ir tai tapo de facto standartu įgyvendinant procesais grindžiamas žiniatinklio paslaugas (Andrews, et al., 2003) (Aalst, Benatallah, Casati, & Verbeek, 2007). BPEL4WS ir BPML susiję su vykdomu procesu, kuris yra tiksli veiklų seka įmonės sistemoje.

BPEL procesas sudarytas iš pagrindinių veiklų, struktūrizuotų veiklų, partnerių nuorodų, kintamųjų, koreliacijos rinkinių, klaidų tvarkytojų ir įvykių tvarkytojų. Pagrindinės veiklos apima žiniatinklio operacijų iškvietimą, gavimo ir atsakymo veiklos teikiamos žiniatinklio paslaugos (angl. *web services*), priskyrimo veikla kintamojo atnaujinimui, laukimo veikla – laukti tam tikrą laiką arba iki tam tikro nustatyto laiko, pabaigos veikla, išmetimo veikla generuojanti klaidą, kompensuojanti veikla ir tuščia veikla.

Daugelis sistemų tokių kaip Oracle BPEL Process Manager, IBM WebSphere Application Server Enterprise, IBM WebSphere Studio Application Developer Integration Edition, ir Microsoft BizTalk Server, SQL server palaiko BPEL.

Tačiau BPEL turi tam tikrų trūkumų. Jie aprašyti (Ko, Lee, & Lee, 2009) – BPEL turi sudėtingą sintaksę ir sudėtingą įgyvendinimą, taip pat nors yra galinga kalba, ją sudėtinga įdiegti, turi ribotą sintaksę. BPEL neturi kai kurių proceso konstrukcijų. Visa tai apriboja modeliavimo galimybes ir yra daugelio transformacijų iš BPMN į BPEL problemų šaltinis. BPMN nemodeliuoja žmogaus įtraukimo į verslo procesus, kas labai apriboja procesų įgyvendinimą, kuriuose dalyvauja žmogus. Tas pats galioja ir kitiems ištekliams, tokiems kaip įrenginiai.

BPML susideda iš paprastų veiklų, sudėtingų veiklų ir konteksto. Paprastos veiklos apima veiksmus vykdančias veiklas ar iškviečiančias vieną operaciją, tuščias veiklas, priskyrimo veiklas, klaidos veiklas, iššaukimo veiklas ar laukimo kol procesas pasibaigs, atidėjimo veikla, sinchronizacijos veikla ir kt.

Straipsnyje (Moon, Lee, Park, & Cho, 2004) autoriai siūlo transformacijos algoritmus tarp BPEL ir BPML verslo procesų vykdymui. Transformacijos algoritmas iš BPEL į BPML procesus išgauna BPML proceso pavyzdį iš BPEL vykdomo proceso pavyzdžio. Atitinkamai, transformavimo algoritmas iš BPML į BPEL gamina BPEL vykdomą procesą ir BPML proceso pavyzdžio. Papildomas darbas prie tiesioginio susiejimo ir atgalinės transformacijos yra būtinas, nes BPEL ir BPML skirias ir iš teorinės puses, ir iš sintaksės, kuri aprašo procesą, be to, šios transformacijos nėra pilnai automatinės.

Straipsnis (Overdick, 2003) supažindina su SOA ir įgyvendinimu darbo srautais pagrįstame variklyje. Autoriai pristato susiejimą darbo srautų šablonų variklio projektavimui ir įgyvendinimui juos su BPEL4WS.

Egzistuoja keletas siūlymų integruoti veiklos taisyklėmis grindžiamas sistemas į SOA aplinką. Tai sudėtinga, nes abu požiūriai turi savo ypatingų savybių. Taisyklėmis pagrįstos sistemos yra pakankamai svarbios, todėl tikslinga jas integruoti į įmonės struktūrą. Egzistuoja du integracijos požiūriai (Rosenberg & Dustdar, 2005): glaudžiai susietas ir silpnai susietas.

Straipsnyje (Rosenberg & Dustdar, 2005) pristatomas požiūris kaip integruoti taisyklėmis pagrįstas žinias, pasiekiamas per verslo taisyklių variklius, į BPEL ar kitas paslaugų sudarymo kalbas.

YAWL (Aalst & Hofstede, 2005) yra nauja darbo srautų verslo procesų sistema, kuri palaiko glaustą ir efektyvią darbo srautų kalbą ir apdoroja sudėtingas duomenų transformacijas ir Web paslaugų integravimą. YAWL apibrėžia dvidešimt naudojamų darbo srautų šablonų, kurie yra suskirstyti į grupes – bazinės kontrolės srauto, pažangūs šakojimo (angl. *branching*) ir sinchronizavimo, struktūriniai, kelių egzempliorių, būsenos ir atšaukimo. YAWL idealiai tinka automatizuoti ir gali užfiksuoti daug paslėptos semantikos, kurios grafiniai standartai negali (Ko, Lee, & Lee, 2009). Tačiau yra keletas apribojimų. Ši kalba nėra aukšto lygio ir sąryšiai nėra akivaizdūs, taip pat reikalauja techninių žinių (Ko, Lee, & Lee, 2009).

Visos apžvelgtos VP vykdymo kalbos nesuteikia galimybės modeliuoti išteklių, modeliuojami tik informaciniai ištekliai. Viena iš priežasčių yra ta, kad šios kalbos yra skirtos verslo proceso vykdymui kompiuterizuotose sistemose, todėl modeliuojami ir vykdomi procesai be realių išteklių.



## 1.5. Verslo proceso simuliacijos metodų apžvalga ir palyginimas

Verslo procesų simuliacijas pradėta kurti maždaug XX a. antroje pusėje (Pray T. F., 1982), kai atsirado didesnis poreikis sužinoti „kas bus, jeigu?“. Tokiu atveju verslo procesą analizuojančio žmogaus ar pašalinio asmens pamąstymas nėra adekvatus. Šioje situacijoje samprotavimų gali būti įvairių ir nepagrįstų jokiais svariais faktais. Norint sukurti kuo tikslesnį simuliacijos modelį, reikia analizės procesą grįsti matematiniais skaičiavimais ir įvairiais algoritmais, kuriais siekiama atvaizduoti arba bent priartėti prie tiriamojo realaus modelio. Remiantis verslo procesų simuliacijos analizės rezultatais ieškomi ir kuriami įrankiai kurių pagalba būtų galima sukurti kuo tiksliau atvaizduojantį verslo proceso modelį. Įrankis turėtų galimybę operuoti diskrečiais įvykiais. Simuliacijos įrankiai naudoja įvairias modernias integruotas verslo valdymo sistemas, tokias kaip ERP.

Simuliacija yra sprendimų priėmimo pagalbos priemonė, realaus pasaulio veiklos, vykstančios tam tikru laiko momentu, imitavimas (Banks, Carson, & Nelson, 2001). Vienas pirmųjų šią sritį pradėjusių tirti mokslininkų yra E. Shannon. Jis knygoje „System simulation: The art of Science“ simuliaciją apibrėžia šiuo teiginiu: „Simuliacija yra realios sistemos apibūdinimo procesas, naudojantis sistemos modelį eksperimentavimui su sistema, siekiant sistemos elgsenos supratimo ar alternatyvių vykdymo strategijų atradimui“ (Shannon, 1975). Pradedama nuo verslo proceso ar sistemos modelio sukūrimo, kuris apibūdina pagrindines pasirinktos sistemos ar proceso elgsenos charakteristikas. Simuliacijos programinė įranga suteikia galimybę įgyvendinti, palyginti ir optimizuoti alternatyvius modelius, patikrinti sistemos ar proceso atsaką į alternatyvias sąlygas. Taipogi, suteikiama galimybė paaiškinti padarytus sprendimus probleminės srities savininkams. Simuliacija turėtų būti naudojama tada, kai siūlomų veiksmų pasekmės negali būti pastebėtos iškart dėl uždelsto laiko ar išplitusios taikymo vietos, be to, atliekamų alternatyvų pasekmės gali būti nepraktiškos ir brangiai kainuoti. Tai reikalinga, tuomet, kai reali sistema dėl savo sudėtingumo ar brangumo negali būti keičiama, arba kai sistema neegzistuoja.

Matematiniai modeliai gali būti naudojami verslo procesų abstrakcijų analizei. Matematiniais modeliams nereikalinga simuliacija. Be to, analitinis (matematinis modelis) yra mažiau detalus ir reikalauja mažiau parametrų (Aalst W. M., 2015), tačiau tokie modeliai būna nesuprantami verslo atstovams. Iš kitos pusės tikslų VP simuliacinį modelį yra sudėtinga sukurti.

Dauguma verslo procesų yra modeliuojami statiškomis grafinėmis diagramomis. Toks modeliavimas suteikia tik ribotas galimybes verslo proceso analizei. Verslo procesai dažnai yra sudėtingi, todėl tokių procesų analizei reikalinga jų dinaminė simuliacija, kuri leistų vartotojams tiksliai modeliuoti, analizuoti, vizu-

alizuoti, kiekybiškai įvertinti ir patikrinti dinamišką sistemos elgseną ir greitaveiką laikui bėgant, įvertinti poveikį įvairių svyravimų, kintamumą, avarijas stochastiniuose procesuose, atsitiktinius gedimus ir etc. (Ren, et al., 2008). Verslo procesų simuliacija suteikia geresnį realaus verslo proceso vaizdą ir gali būti panaudojama proceso perprojektavime ir jo optimizacijai. Simuliacija yra bandymas sumodeliuoti sistemą ir sugeneruoti keletą tipišκών scenarijų siekiant pamatyti kaip sistema veikia (Kumar & Bhat, 2010).

Daug lengviau yra sukurti statinį verslo proceso modelį nei simuliacinį. Simuliacijos modelio kūrimas reikalauja gilesnių žinių apie verslo proceso veiklą.

Norint žinoti, kada tikslinga kurti simuliacinį modelį reikia žinoti jo privalumus. Išskiriami tokie simuliacijos privalumai (Aalst W. M., 2015):

- simuliacija yra lanksti. Bet kokia situacija gali būti ištirta naudojant simuliaciją;
- naudojama atsakyti į platų spektrą klausimų;
- simuliacija skatina kūrybiškumą;
- simuliaciją lengva suprasti.

Žinoma simuliacija turi ir trūkumų (Aalst W. M., 2015). Simuliacijos kūrimas ir rezultatų tyrimas yra daug laiko reikalaujantis procesas, sudėtinga interpretuoti rezultatus, t. y. galimos klaidos interpretuojant juos, simuliacija nepateikia įrodymų.

Dėl daug pastangų reikalaujančio simuliacijos modelio sukūrimui jis kuriamas tik tam tikriems tikslams pasiekti. Išnagrinėjus literatūros šaltinius (Bosilj-Vuksic, Vlatko, & Vlatka, 2007) (Jansen Vullers & Netjes, 2006), (Laguna & Marklund, 2004) sudarytas galimų simuliacijos tikslų sąrašas:

- naujų arba pakeistų procesų trukmės nustatymas;
- procesų kaštų nustatymas;
- pajėgumu ar personalo darbo optimizavimas;
- įėjimų pasikeitimų poveikio procesui prognozavimas;
- alternatyvių procesų palyginimas;
- skirtingų procesų konfigūracijų palyginimas.

Reikia paminėti, kad VP simuliacijoje naudojami terminai, kurie rečiau su-tinkami VP modeliavime ar vykdyme. Viena iš tokių sąvokų verslo proceso egzempliorius, verslo proceso modeliavimo atveju buvo kalbama tik apie verslo proceso modelį, kuris yra vienodas visiems verslo proceso egzemplioriams. Verslo proceso egzempliorius yra vienas verslo proceso atvejis. Simuliacija leidžia tirti keletą to paties verslo procesų egzempliorių sąveiką. Vienu metu simuliuoti keletą ar daugiau verslo procesų egzempliorių. Visa tai įgyvendinti realiaame pasaulyje gali būti pakankamai sudėtinga ir/arba labai brangu, o vien dėl pabandymo gali būti netikslinga.

## 1.6. Simuliacijos būdų apžvalga ir klasifikacija

Mokslinėje literatūroje galima rasti keletą simuliacijos klasifikavimo būdų. Straipsniuose (Ren, et al., 2008), (Tako & Robinson, 2012) išskiriami du simuliacijos būdai: sistemų dinamika ir diskrečių įvykių simuliacija. Sistemų dinamika dar vadinama tolydus imitavimas (angl. *continuous simulation*).

Sistemų dinamika naudojama modeliuoti problemas strateginiame lygmenyje, o diskrečių įvykių simuliacija (DĮS) labiau naudojama operaciniame/taktiniame lygmenyje (Tako & Robinson, 2012). Diskrečių įvykių simuliacija modeliuoja sistemos operacijas laike kaip atskirų įvykių seką. Tolydus imitavimas reiškia fizinės sistemos kompiuterinį modelį, kuris nuolatos seka sistemos reakciją bėgant laikui pagal lygtis, kurios yra dažniausia diferencialinių lygčių rinkinys.

Taip pat išskiriami penki simuliacijos tipų aspektai: socialinio, laikinio, finansinio, gamtosauginio ir energetinio. Jais stengiamasi išspręsti įvairius realybėje iškilusius klausimus. Socialiniais aspektais, stengiamasi išsiaiškinti darbo santykių, darbo našumo problemas. Laikinio aspekto tikslas išspręsti, kodėl darbuotojai nesugeba atiduoti maksimalios grąžos verslui. Finansinis – siekiant išgauti kuo didesnę finansinę naudą nešančius sprendimus, kuriuos būtų galima pritaikyti realiam verslo modeliui. Į energetinį aspektą, labai svarbu atsižvelgti siekiant rasti pusiausvyrą mažinant energetinių šaltinių naudojimą, išgaunant didžiausią naudą iš verslo. Gamtosauginis aspektas aktualus verslo įmonėms, kurios užsiima gamtą teršiančia veikla arba daug energijos išteklių suvartojančioms įmonėms siekiant rasti tinkamiausią balansą tarp teršalų išmetimo į aplinką ir didžiausios naudos iš verslo proceso. Retai pasitaiko, kad kuriant modelius atsižvelgiama tik į vieną iš paminėtų tipų ar aspektų. Dažnai keli, o kartais net visi šie simuliacijų tipai ir aspektai apjungiami į vieną, norint pavaizduoti kuo tikslesnį realybės modelį ir procesus atliekamus su juo. Tačiau šiame darbe nagrinėjamas verslo procesų simuliacijos aspektas. Verslo procesų simuliacija, tai organizacijos pokyčių valdymo būdas, skirtas atsakyti į klausimus, kurie iškilo verslo proceso modeliaavimo metu. Simuliacija, tai technologija, kuri dinaminiam kompiuteriniame modelyje atvaizduoja procesus, žmones ir technologijas (Owen & Raj, 2003) (BPMI, 2015).

Daugeliu atvejų, analizuojant verslo procesų simuliacijos galimybes, priinama išvada: reikia modeliuoti diskrečius įvykius, iš kurių gausos susideda verslo procesas. Diskrečių įvykių simuliacija (toliau DĮS) naudoja realios sistemos matematinį/loginį modelį, kuris vaizduoja būsenų pasikeitimą tiksliame taške simuliacijos metu (Nance, 1993).

Išskiriami du DĮS modelių įgyvendinimo tipai (Fischer, 2005):

- tikimybiniis – stochastinio proceso pateikimui naudojamos tikimybių pasiskirstymo funkcijos, dar žinomos kaip Monte Carlo simuliacija;

- deterministinis – simuliacijos įvykiai yra priklausomi nuo modelio parametrų ir prie vienodų sąlygų duos tuos pačius rezultatus.

DJS turi keletą privalumų prieš kitus simuliacijos metodus. Vienas iš jų, kad DJS leidžia apibūdinti sudėtingas gamybos sistemas ir apima stochastinius elementus, kuriuos yra sudėtinga apibrėžti matematiniais ar analitiniais modeliais (Venkateswaran & Son, 2005). Kitas privalumas, kad DJS leidžia stebėti atskiras esybes ir išteklis, taip pat įvertinti daugelį našumo matavimo vienetų susijusių su šiomis esybėmis (Venkateswaran & Son, 2005). Kaip jau minėta, verslo procesus taip pat sudėtinga išreikšti matematinėmis formulėmis ir tokių modelių pakeitimas bus brangus, todėl verslo proceso simuliacijai tikslinga naudoti diskrečių įvykių simuliaciją. Tokiu atveju DJS modelis gali būti lengvai pakeičiamas pasikeitus verslo procesui. Be to, tokie verslo procesų modeliai skirtingai nuo matematinių modelių yra suprantami verslo atstovams ir gali būti atsižvelgta į jų pastabas, todėl tikėtina, kad tokiu modeliu pagrįsta simuliacija bus tikslesnė ir vėliau lengviau modifikuojama.

Sistemų dinamika yra metodika ir kompiuterių simuliacijų kūrimo technologija, kurios dėka atliekama kompleksinių problemų analizė. Jos atradėjas yra profesorius Jay. W. Forster ir 1950-taisiais išleistoje knygoje modeliavimo būdas vadinamas „Industrijos dinamika“.

Sistemų dinamika arba tolydus imitavimas naudoja lygčių modelius, kurie neaprašo tikslaus laiko ir aprašo ryšius, kurie yra simuliacijos trūkių pasekmė (Nance, 1993). Tokios simuliacijos pavyzdžiai galėtų būti sudėtingi ekonominiai, ekologiniai modeliai ir pan. Versle, tai būtų pakankamai aukšto abstrakcijos lygmens simuliacija ir pirmiausia naudojama strateginio lygio problemoms spręsti.

Agentais paremtas duomenų apdorojimas (angl. *agent-based computing*), tai yra tyrimų sritis, kuri dažniausiai naudojama kompiuterijos moksluose, ji apima agentais paremtą modeliavimą, projektavimą ir programavimą. Agentai turi apibrėžtus atributus ir metodus – taisykles, aprašančias bendravimą su kitais agentais. Agentais pagrįstame modelyje galima simuliuoti tam tikrų veikėjų, kurie sąveikauja tarpusavyje, elgseną.

Kombinuota simuliacija turi abiejų savybių: diskrečių įvykių simuliacijos ir sistemų dinamikos. Hibridinė simuliacija naudoja analitinį submodelį su diskrečių įvykių modeliu (Nance, 1993). Prie šių simuliacijos tipų galima priskirti Anylogic įrankį, kuris palaiko agentinę, diskrečių įvykių simuliaciją ir sistemų dinamiką. Tačiau šie metodai ir modeliai sukurti jų pagrindu skirti skirtingo lygio problemoms spręsti ir tarpusavyje ne visada integruojasi. Kiekvienas simuliacijos tipas turi ribojimų ir yra skirtas konkrečiai sričiai, todėl mokslinėje literatūroje daugiausia nagrinėjamos problemos ne kombinuotos simuliacijos, o atskirų simuliacijos tipų.

## 1.7. Verslo proceso vykdymo ir simuliacijos panašumai ir skirtumai

Svarbu pažymėti, kad verslo proceso simuliacija skiriasi nuo verslo proceso vykdymo. Verslo proceso modeliais grindžiamas vykdymas apima tik automatizuojamus procesus, pavyzdžiui, naudojimas elektroninei prekybai, dokumentų valdymo sistemose ir pan. VP modeliais grindžiama simuliacija naudojama norint ištirti sudėtingesnius procesus, kurių neįmanoma kompiuterizuoti. 1.1 lentelėje pateikiami pagrindiniai skirtumai tarp VP modeliavimo (grafinio vaizdavimo ir vykdymo) ir VP simuliacijos. Visų pirmiausia skiriasi taikymo sritys – simuliacija gali būti pritaikoma visiems procesams, o vykdymas tik pilnai automatizuojamiems.

**1.1 lentelė.** Verslo procesų simuliacijos ir vykdymo palyginimas

**Table 1.1.** Comparison of business process simulation and execution

Skirtumai	VP modeliavimas ir simuliacija	VP modeliavimas ir vykdymas
Taikymo sritis	Įmanoma simuliuoti visus verslo procesus	Pilnai automatizuojamiems verslo procesams
Kūrimas	Reikalinga detalesnė VP analizė	Reikalinga ne tokia detali analizė
Sąveika	Galima tirti kaip skirtingi proceso egzemplioriai veiks vienas kitą, kaip konkuruos dėl išteklių	Sudėtinga įvertinti procesų egzempliorių sąveiką.
Pokyčiai	Alternatyvūs sprendimai prie skirtingų sąlygų.	VP pakeitimas dažnai reikalauja sistemos ar jos dalies perkūrimo
Rezultatai	Įvairaus pjūvio ataskaitos apie VP simuliacijos vykdymą	Ataskaitą apie įvykdymą, proceso statinis modelis
Paskirtis	Pokyčių analizei, išteklių planavimui, pajėgumų valdymui. „Kas jeigu analizė“, VP pokyčio analizė	Analizei, Automatizavimui, dokumentavimui
Naudojamos priemonės ir kalbos	Nėra standartizuotos simuliacijos kalbos	BPMN, UML, BPEL, EPC ir kitos kalbos
Analizė	Apjungia statinę ir dinaminę analizę	Statinė analizė

VP modeliavimas gali būti atliekamas ir neautomatizuojamiems procesams, tokiems kuriuose dalyvauja rankinis darbas, tačiau tokiu atveju analizė tėra tik grafinio modelio, darbo srauto loginis patikrinimas.

Iš 1.1 lentelėje pateiktų skirtumų tarp VP modeliavimo ir simuliacijos, teigiama, kad pagrindinis skirtumas tarp VP simuliacijos ir vykdymo yra toks, kad VP vykdymo metu nagrinėjamos proceso veiklos, kurios galima perkelti į informacinę sistemą, pavyzdžiui, e-prekybos sistemos procesai, ar elektroninių dokumentų valdymo sistemos, o VP simuliacija naudojama, kai verslo procese yra žmonių rankinis darbas ar naudojami įrenginiai, t. y. veiklos, kurių neįmanoma realizuoti IS. Atitinkamai iš to seka, kad reikia detalesnės VP analizės norint realizuoti simuliaciją, tačiau pakeitimai VP simuliaciniame modelyje leis įvertinti VP pokyčius ir išrinkti geriausią sprendimą, kuris bus pasirinktas įgyvendinti realiame VP.

## **1.8. Verslo procesų simuliacijos įrankių apžvalga ir jų tinkamumo įvertinimas**

Rinkoje pateikiama daugybė priemonių, kurios yra skirtos verslo procesų modeliavimui ir simuliacijai. Nors šių priemonių funkcionalumas nuolat didėja, tačiau jos dar nėra plačiai naudojamos dėl sudėtingumo ir funkcionalumo sąryšio. Kuo didesnis priemonės funkcionalumas, tuo sudėtingiau ja naudotis (Changrui, 2008). Verslo procesų valdymo įrankiai dažnai suteikia galimybę simuliuoti verslo procesą. Tačiau šios programų sistemos nėra tam skirtos, todėl simuliacija nėra pakankamai išvystyta ir turi nemažai trūkumų. Nors ir egzistuoja VP simuliacijos įrankių kurie naudoja BPMN modelį, tačiau šie įrankiai tinkami tik suprastintiems VP simuliuoti (Januszczak, 2011). Simuliacijos modelis turi būti lengvai pritaikomas prie besikeičiančios verslo aplinkos, kad atitiktų vykstančią verslo procesą, o norint procesą pagerinti nereiktų simuliacijos modelio kurti iš naujo.

M. H. Jansen-Vullers ir M. Netjes (Jansen-vullers & Netjes, 2006) išskiria simuliacijos įrankius pagal jų taikymo sritį – verslo proceso modeliavimui, verslo procesų valdymui ir bendriniai simuliacijos įrankiai. Verslo procesų modeliavimo įrankiai (Jansen-vullers & Netjes, 2006) sukurti, aprašyti ir analizuoti verslo procesus. Šie įrankiai palaiko verslo procesų kontrolės srautą, įtraukia išteklių vaidmenis, naudojamus dokumentus ir instrukcijas naudojamas verslo proceso vykdymo metu. Kaip vykdymo rezultatas gali būti generuojama verslo proceso dokumentacija, instrukcijos, funkcinės specifikacijos ir pan.

Vienas iš VPV sistemos pavyzdžių yra Bonita Open Solution (Bonita Open Solution). Bonita Open Solution yra atviro kodo VPV sistema ir darbo srautų valdymo rinkinys. Bonita susideda iš trijų komponentų. Bonita Studio leidžia vartotojui apibrėžti verslo procesus naudojant BPMN. Bonita VPV Engine leidžia juos

vykdyti programų sistemoje. Bonita User Experience – tai vartotojo portalas, kuriame stebimi ir administruojami procesai. Bonita leidžia simuliuoti verslo procesą užrašytą BPMN ir papildomai aprašius naudojamus proceso resursus, taip pat leidžia sukurti skirtingus apkrovos profilius procesui. Simuliacijos rezultato ataskaita įvairiais pjūviais.

Verslo procesų valdymo sistemos kilo iš darbo srautų valdymo sistemų. VPV įrankis turi palaikyti visą proceso gyvavimo ciklą. Dauguma VPV įrankių nesuteikia simuliacijos galimybių, nes daugiausia yra kuriamos ir skirtos VP vykdymui, t. y. dalinai automatizuojamiems VP įgyvendinti.

**1.2 lentelė.** Verslo procesų simuliacijos įrankių palyginimas

**Table 1.2.** A comparison of business process simulation tools

Kriterijus	Anylogic	Bonita studio	Tibco	Accuprocess	Aris	Bizagi	Adonis	DBPSim (VGTU)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Suderinamumas su duomenų lentelėmis		X			X	X	X	X
Suderinamumas su statistiniais paketais	X	X						
Suderinamumas su WFM sistemomis		X	X		X	X	X	
Simuliacijos modeliavimas (veiklų atžvilgiu, procesų atžvilgiu...)								
Suderinamumas su BPMN standartu		X	X	X	X	X	X	X
Procesų išteklių skaičiavimas	X			X	X	X	X	
Loginiai tikrinimai	X	X	X	X	X	X		X
Išvestų duomenų analizė	X	X	X	X	X	X	X	
Duomenų analizės kokybė	X	X	X	X	X	X	X	
Ataskaitų kokybė	X	X	X	X	X	X	X	
„Kas jeigu“ analizė	X	X	X	X	X	X	X	X
Galimybė daryti išvadas	X		X	X	X	X	X	X
Optimizavimas	X	X		X	X	X	X	X
Proceso optimalumo matavimas	X		X	X	X	X	X	

## 1.2 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modelio ir duomenų atskyrimas		X	X			X	X	X
Užklausų politika			X	X				
Suderinamumas su DBVS		X	X			X	X	X
Procesų trukmės skaičiavimas	X		X	X	X			X
Patirtis darbui su priemone		X		X	X	X	X	X
Išmokymo naudotis lengvumas		X		X	X	X	X	
Draugiškumas naudotojui		X		X	X	X	X	
Modelio pristatymo aiškumas		X		X	X	X		
KPI	X	X	X	X		X		
Naudotojo veiksmai simuliacijos metu		X		X		X		X
Veiklų konkurencija dėl išteklių								X
Periodinis rezultatų išvedimas	X	X	X	X	X	X	X	X

Simuliacijai yra sukurta daug skirtingų įrankių, kurie vienas nuo kito gali skirtis pagal pritaikymo sritį, todėl kuriant VP simuliaciją svarbu pasirinkti tinkamą įrankį. Simuliacijos įrankiai aptarti ir išanalizuoti straipsnyje (Raudonius, Vasilecas, Šmaižys, & Rima, 2012), kuriame buvo atrinkti mokslinėje literatūroje aptariamieji 79 VP simuliacijos priemonių kriterijai. Pirmiausia, pasinaudojus (Bosilj-Vuksic, Vlatko, & Vlatka, 2007) pasiūlyta metodika, kriterijai buvo sugrupuoti į keturias pagrindines grupes: programinės įrangos ypatybės, modeliavimo galimybės, simuliacijos galimybės, įvesties ir išvesties ypatybės. Atsižvelgus į tai, kitas analizės žingsnis, naudojantis (Bosilj-Vuksic, Vlatko, & Vlatka, 2007) pateikta metodika, yra minėtų grupių išskaidymas į siauresnes grupes, t. y. programavimo aspektai, programinės įrangos suderinamumas, pagalba naudotojams, finansiniai ir techniniai aspektai, kilmė, pagrindinės savybės, pagalba modeliuojant, regimieji aspektai, efektyvumas, testavimo galimybės, eksperimentavimo galimybės, statistinės galimybės, įvesties ir išvesties galimybės, analizės galimybės. 1.2 lentelėje pateikiami tik šiame darbe aktualūs simuliacijos priemonių kriterijai, taip pat pridėti kriterijai, kurie pasiūlyti šiame darbe. Pagal šiuos atrinktus kriterijus yra palyginamos VP simuliacijos priemonės.

Atrinkus pagrindines įrankių savybes darbo rašymo metu buvo nustatytos papildomos reikalingos savybės simuliacijos įrankiams. Tai išteklių modeliavimo palaikymas verslo proceso modelyje, išteklių grafinis vaizdavimas, kuris yra svarbus atliekant statinio VP modelio analizę ir konkurencijos dėl išteklių savybė, kuri analizuojama ir pristatoma antrame šio darbo skyriuje.



Atlikus analizę nustatyta, kad iš simuliacijos įrankių būtų galima išskirti Bizagi, Bonita Studio ir ADONIS. Šie visi įrankiai paremti BPMN 2.0 modelių notacija ir jų simuliacija. Jų veikimo principas galima teigti, kad beveik vienodas. Jais intuityviai kuriamos procesų simuliacijos, turi tam tikrus taisyklių rinkinius, pagal kuriuos nėra galimybės sukurti BPMN logikos neatitinkančių modelių. Simuliacijos įrankiai gali būti pritaikyti konkrečiai dalykinei sričiai, pavyzdžiui, tokiu kaip logistika, šios grupės įrankis Arena. Bonita Studio daugiausia dėmesio skiria verslo procesų vykdymui, o simuliacijos komponentas jau kurį laiką nebeatnaujinamas.

DBPSim (Vilnius Gedimino Technikos Universitetas, 2016) VGTU Informacinių sistemų katedros vystomas simuliacijos įrankis. Įrankis skirtas modeliuoti dinامينius procesus ir vėliau juos simuliuoti su tam tikrais ribojimais, tačiau gali būti praplėstas reikiamu funkcionalumu. Šiuo įrankiu galima rankiniu būdu kurti dinامينių VP modelius, kuriuose nurodomos veiklos, jų vykdymo sąlygos (taisyklės) bei atlikimo turinys, pavyzdžiui, konteksto keitimas, apdorojimas ir kai kurių išteklių tipų valdymas. Simuliacijos rezultatas gali būti pateikiamas tekstiniu bei grafiniu pavidalu. Konkurencija dėl išteklių buvo realizuota šiame įrankyje tyrimo vykdymo metu, kad galėtų atlikti eksperimentus.

Komercinė Anylogic Simulation programinė įranga, skirta simuliuoti įvairiems procesams. Šis produktas palaiko visas pagrindines metodikas – sistemų dinamiką, diskrečių įvykių ir agentais grindžiamą modeliavimą (Anylogic). Anylogic turi grafinius įrankius, bibliotekas, palaiko objektinę modelių kūrimo paradigmą, tai leidžia modeliuoti verslo procesą įvairiose srityse. Didžiausias Anylogic trūkumas, kad produktas nepalaiko BPMN modelių ir nėra galimybės įrankį papildyti nauju funkcionalumu.

Dar vienas iš Anylogic trūkumų, kad nėra galimybės tiesiogiai realizuoti veiklos taisyklių. Nors Sistemos dinamikos modelyje (simuliacijoje) turi sprendimų taisykles. Anylogic naudoja Java kodą aprašyti kai kuriems parametrams ir funkcijoms, o tai leidžia iškviesti kitas Java bibliotekas. Viena iš galimybių yra panaudoti Drools taisyklių kalbą Anylogic simuliacijoje, ją kvieisti per Java kalbos kodą. Nors Anylogic teigia, kad galimybes integruoti su savo bibliotekomis, DBVS palaikymą turi tik Anylogic Pro versija.

Aukščiau minėta, BPMN tapo „de facto“ standartu verslo procesų modeliavimui. Nors ši kalba suteikia verslo procesams grafinę notaciją, tačiau ji nėra skirta VP simuliacijai. Mokslinėje literatūroje publikuojami bandymai pritaikyti BPMN simuliacijai bei yra sukurta ir įrankių, kurie dalinai palaiko BPMN modelio simuliaciją, tačiau šiuo metu nėra vieno standarto kaip simuliuoti BPMN modelį, yra tik keletas pasiūlytų metodų. Viena iš didesnių problemų simuliuojant BPMN yra ta, kad nėra išteklių priskyrimo veikloms. Išteklių modeliavimo problema nagrinėjama straipsniuose (Großkopf, 2007) (Awad, Grosskopf, Meyer, &

Weske, 2009) (Stroppi, Chiotti, & Villarreal, 2011) (Ouyang, 2010). Dalis išteklių gali būti sumodeliuota naudojant BPMN elementą Lanes, tačiau simuliacijai reikia daugiau parametrų. Simuliuojant turi būti nurodyta koks išteklius priskirtas veiklai ar jis gali būti naudojamas keliose veiklose (konkurencija dėl išteklių), kiek veiklų gali šį išteklių naudoti, ar išteklius visada prieinamas, išteklių vaidmenis ir pan. Visos reikalingos išteklių savybės aprašomos antrame skyriuje.

Kitas svarbus BPMN taikymo simuliacijai trūkumas, kad ji neturi elemento galinčio vaizduoti eiles. Procesą simuliuojant reikia nustatyti eiles ir taip pat žinoti kiek darbų susikaupia prieš veiklą ar po veiklos. Kita vertus darbų eilės gali susidaryti prieš kiekvieną veiklą, tačiau gali būti tokių veiklų prieš kurias eilės nesusidaro (pvz. pilnai automatizuojama veikla). Modeliuojant procesą būtų neįmanoma atpažinti visų eilių susidarymo vietų.

VP simuliacijos priemonių gamintojai šią problemą sprendžia įvairiai. Bonitasoft tai sprendžia pateikdama ataskaitą, bet ji neanimuoja paties verslo proceso jam vykstant. Kiti gamintojai prie veiklų prideda papildomų indikatorių, kurie rodo apdorotus, vykdomus ir laukiamus darbus (TIBCO).

## 1.9. Simuliacinio modelio kūrimas

Verslo procesų simuliacija, tai organizacijos pokyčių valdymo būdas, skirtas atsakyti į klausimus, kurie iškilo verslo proceso modeliavimo metu. Simuliacija, tai būdas, kuris dinaminiam kompiuteriniame modelyje atvaizduoja procesus, žmones ir technologijas (Brocke, 2008) (BPMI, 2015). Verslo proceso modeliavimas tai tik vienas iš pirmųjų žingsnių išteklių planavime. Verslo atstovams iškyla aktualių klausimų tiek modeliavimo metu, tiek sumodeliavus verslo procesą. Šios abejonės gali turėti reikšmingą įtaką tolimesniam verslo vystymui (tai veiklų ar net pačių procesų pokyčiai). Verslo dalyviams svarbu žinoti, kokią įtaką turės veiklų, įeinančių duomenų pakeitimai procesų išeigai. Simuliacijos pagalba galima sužinoti, kokius rezultatus duos numatomi pokyčiai jų neatlikus realybėje, galimas problemas bei, kaip verslo procesai turėtų būti optimizuoti. VP simuliacija negali duoti visiškai tikslių rezultatų, todėl ne visada padeda išspręsti problemą. Rezultatai būdami pakankamai išsamūs suteikia gilesnį supratimą apie vykstantį procesą. Tačiau norint sukurti VP simuliaciją, reikia daugiau laiko nei tiesiog modeliuojant VP. Kadangi BPMN modeliais grindžiama VP simuliacija yra pakankamai nauja, taip pat nėra išvystyta, todėl nėra metodo, kaip sukurti tokią simuliaciją. Mokslinėje literatūroje apibrėžiami tokie verslo procesų simuliacijos kūrimo apibrėžiami etapai (Paul, 1998) (Aalst W. M., 2015):

1. Modeliavimo uždavinių apibrėžimas – nusprendžiama kam bus skirta simuliacija, nustatoma simuliacijos išeiga ir ką modelis turi pateikti kaip rezultatą.

2. Modeliavimo ribų apibrėžimas – nusprendžiama, kurie procesai ar jų dalys bus modeliuojamos. Tai nustatoma iš procesų reikšmingumo ar iš procesų perkūrimo poreikio.
3. Duomenų surinkimas ir analizė – procesui svarbių duomenų išgavimas ir analizavimas. Duomenys gaunami iš pokalbių su proceso ekspertais, dalyviais, egzistuojančios dokumentacijos, įvairių informacinių sistemų.
4. VP simuliacijos modelio kūrimas – VP simuliacinio modelio sukūrimas naudojant parinktą programinį įrankį. Modelis tobulinamas tol, kol pasiekiami patenkinami rezultatai.
5. Modelio testavimas arba patikrinimas – kuriant VP simuliacinį modelį atliekamas testavimas. Gali būti naudojamos įvairios verifikavimo technikos, pavyzdžiui, pasiskirstymų testavimas, statinė ir dinaminė logika. Šiame etape gali būti atliekamas ir validavimas, t. y. sukurto simuliacinio modelio lyginimas su realybe.
6. Eksperimentavimas – eksperimentai turi būti sudaromi taip, kad apimtų didelį kiekį alternatyvų, tačiau eksperimentai turi būti kaip galima paprastesni.
7. Rezultatų analizė – naudojami įvairūs statistiniai būdai simuliacijos rezultatų palyginimui, tai gali būti tiesiog vykdymo laiko palyginimas ir įvairios statistinės technikos.
8. Proceso pakeitimų rekomendacijos – iš simuliacijos rezultatų analizės suformuluojamos rekomendacijos procesų pokyčiams.

## **1.10. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas**

1. Mokslinės literatūros analizė parodė, kad VP modeliavimo kalbos yra pakankamai išplėtos, sukurti VP modeliai yra plačiai naudojami, tačiau VP simuliacija, kuri yra apibrėžiama ir VPV požiūryje nėra pakankamai išvystyta.
2. BPMN tampa paplitusia kalba verslo procesų modeliavimui. Ją bandoma transformuoti į vykdomąją verslo procesų kalbą, tokią kaip BPEL, tačiau BPEL apima tik automatinius procesus, t. y. kompiuterizuotas veiklas. BPEL yra netinkama ir nepritaikoma VP simuliacijai, jei procese yra rankinių veiklų.
3. Norint pritaikyti BPMN modelius simuliacijai yra susiduriama su problemomis. BPMN nesuteikia pakankamai galimybių atvaizduoti visų reikalingų aspektų simuliacijai, tokių kaip ištekliai (žmogiškieji, energetiniai, gamybiniai ir pan.), ir jų prieinamumo, eilių verslo procesų

modelyje ar veiklų konkurencijos dėl išteklių. BPMN modelius būtų patogiau naudoti simuliacijai, nes įmonėse BPMN pagrindu sukurti modeliai naudojami procesų dokumentavimui. Kitos analizuotos kalbos nėra plačiai paplitusios, todėl dauguma VP modelių yra sukurti naudojant BPMN.

4. Daugelis verslo procesų valdymo priemonių bando pritaikyti BPMN modelius simuliacijai, bet pasiūlyti būdai turi trūkumų. Vienas iš trūkumų, kad nėra pakankamai atsižvelgiama į išteklių ribotumą.

Atsižvelgiant į pateiktą apibendrinimą suformuoti darbo uždaviniai:

- Pasiūlyti išteklių klasifikavimo būdą, nustatyti procesų dėl ribotų išteklių konkurencijos atvejus ir tokių procesų modeliavimo ir simuliacijos galimybes;
- Suformuluoti verslo procesų su ribotais ir bendrai naudojamais ištekliais modeliavimo ir simuliacijos metodą;
- Atlikti eksperimentinį tyrimą su pasiūlytu metodu.

---

## **Verslo proceso su bendrai naudojamais ribotais ištekliais modeliavimas ir simuliacija**

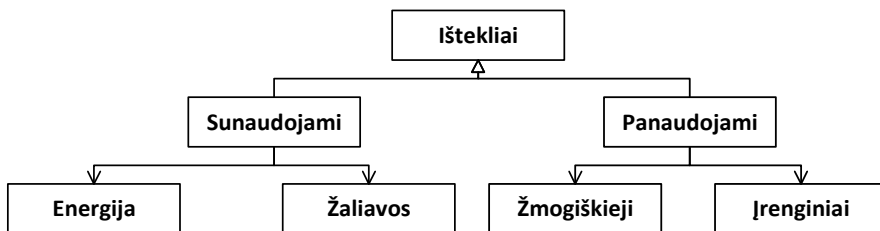
Skyriuje apžvelgiamos išteklių modeliavimo verslo procesų modeliuose problemos. Analizuojami verslo procesų simuliacijos būdai įvertinantys išteklių ribotumą ir konkurenciją dėl jų. Pristatomi veiklų ir procesų konkurencijos atvejai dėl išteklių verslo procesuose. Apžvelgiami VP simuliacijos pritaikymo būdai versle.

Skyriaus medžiaga pristatyta (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2012) (Vasilecas, Laureckas, Rima 2014a) (Vasilecas, Šmaižys, Rima 2013a) (Rima, Vasilecas 2015) straipsniuose.

### **2.1. Išteklų modeliavimo verslo proceso modelyje problemos ir išteklių panaudojimas simuliacijoje**

Verslo procesai realiame pasaulyje nevyksta be išteklių. Ištekliai reikalingi, kad verslo procesas pateiktų išėigą. Ištekliai gali būti, kurie atlieka veiklas – žmonės, įrengimai, taip pat procesų metu sunaudojami ištekliai tokie kaip elektra, degalai,

popierius ir pan. Atliekantis veiklą arba panaudojami veikloje ištekliai yra dar vadinami vykdytojais, tačiau bendru atveju tai yra tokie pat proceso ištekliai. Priklausomai nuo verslo proceso modeliavimo tikslo reikia atvaizduoti tokius išteklius verslo proceso modelyje. Standartinės modeliavimo kalbos, tokios kaip BPMN, yra skirtos modeliuoti verslo proceso darbo srauto logiką arba kontrolės logiką. Tačiau išteklių modeliavimas šioje kalboje yra silpnai palaikomas. Dėl šių priežasčių yra bandoma kurti kalbos plėtinius išteklių modeliavimui arba pritaikyti standartinės notacijos priemones ištekliams modeliuoti.



**2.1 pav.** Išteklių tipai  
**Fig. 2.1.** Types of resources

Prie išteklių galime priskirti ir veiklą vykdytojus. Vykdytojai yra tokie pat ištekliai reikalingi procesui įvykdyti, kad procesas duotų norimą išėigą. Iš to seka, kad išteklius siūlome skirstyti į sunaudojamus ir panaudojamus (2.1 pav.). Kiekvienas išteklių tipas turi skirtingas savybes. Sunaudojami ištekliai tokie ištekliai, kurie veiklos ar proceso vykdymo metu yra sunaudojami įėigai transformuoti į proceso išėigą (rezultatą), šių išteklių kiekis yra sumažinamas išteklių mato vienetais panaudotais vienetais. Sunaudojamus išteklius verslo proceso vykdymo metu skirstome į energetinius išteklius ir žaliavas. Energetinių išteklių pavyzdys būtų elektros energija, šiluminė energija, kuras ir pan. Žaliavos – tai būtų ištekliai, kurie reikalingi pagaminti produktams (VP išėigai), pavyzdžiui, metalas, plytos, popierius ir pan. Panaudojami ištekliai veiklos vykdymo metu yra tik užimami ir pasibaigus proceso veiklai atlaisvinami, kad galėtų būti naudojami kitų veiklų ar procesų egzempliorių. Panaudojamus išteklius klasifikuojame į tokias grupes: personalą (žmogiškuosius) ir įrenginius. Žmogiškieji ištekliai tai įmonės darbuotojai, kurie įmonėje atlieka įvairias funkcijas, jie turi apibrėžtą darbo laiką, pareigas ir panašiai. Įrenginiai tai įmonės naudojami įrenginiai, pavyzdžiui, įvairios staklės, automobiliai, įvairūs prietaisai. Žmogiškųjų išteklių ir įrengimų skaičius įmonėje ribotas ir dažniausia dėl šių išteklių įmonėje konkuruoja keletas vykstančių VP ar net pertraukia atliekamas šių išteklių veiklas. Priešingai nuo žaliavų, kurios gali būti kas kiek laiko papildomos su panaudojamais ištekliais nėra taip, todėl panaudojami ištekliai yra labai riboti ir jų veiklą įmonėse bandoma planuoti.

Todėl reikalingos priemonės tokių išteklių veiklai planuoti, ši problematika ir nagrinėjama tolesniuose skyriuose.

Verslo proceso modeliuose nėra pakankamai išskirtas išteklių modeliavimas. Dabartiniuose modeliavimo ir simuliacijos įrankiuose dažnai verslo procesų modeliai yra atskirti nuo jų simuliacijos. Modelis ir simuliacijai pritaikomas modelis yra kuriami atskirai. Paprastai simuliacijos įrankiuose aprašomas tik naudojamų išteklių kiekis. Taip pat organizacijos dažnai verslo proceso modeliuose ir simuliacijoje išteklius įvertina nekorektiškai. Išskiriama keletas pagrindinių išteklių modeliavimo atvejų, kuriuose iškyla problemų:

- Kai ištekliai dalyvauja keliuose procesuose. Pavyzdžiui, dažnai žmogiškieji ištekliai dalyvauja keliuose procesuose, tačiau simuliacija susikoncentruoja ties vienu procesu. Pavyzdžiui, tam tikras žmogiškasis išteklius gali dalyvauti dešimtyje skirtingų procesų ir prie kiekvieno praleisti apie 20 % savo laiko. Dažniausiai tokios situacijos, naudojant simuliacijos įrankius, neįmanoma sumodeliuoti. Todėl simuliaciniuose modeliuose išteklius priskiriamas procesui visą savo laiką, tačiau nustatomas sumažintas jo našumas arba nedidelis jo naudojimo procentas. Tokiu atveju gaunami netikslūs simuliacijos rezultatai. Tobulesniuose simuliacijos įrankiuose visgi leidžiama nurodyti, kad išteklius yra naudojamas tam tikru metu. Tačiau tai, taip pat, yra neteisinga abstrakcija, nes išteklius paskirsto savo darbą procesuose pagal prioritetus ir darbo krūvius. Tuomet simuliacijos rezultatai, taip pat, gali būti netikslūs (Aalst et al. 2008).
- Išteklius dalyvauja dviejuose ar daugiau vykstančio proceso egzemplioriuose. Tai svarbu, kai panaudojamas išteklius vykdo veiklas arba naudojamas vienu metu keliuose veikiančiuose to paties verslo proceso egzemplioriuose. Tokių situacijų verslo procesų simuliacijos priemonės dažniausiai nesimuliuoja.
- Kai ištekliai nedirba pastoviu greičiu. Pavyzdžiui, žmogiškieji ištekliai dirba skirtingu greičiu, kuris priklauso nuo darbo krūvio, emocinės būsenos ir kitų psichosomatinių aplinkybių. Šiuo metu nėra simuliacijos įrankių, kurie leistu modeliuoti verslo proceso įvykdymo laiko priklausomybę nuo darbo krūvio (Vasilecas et al. 2013).
- Ištekliai patys nusprendžia kokias veiklas vykdyti pirmiau.
- Kai ištekliai dirbą ne visą laiką. Pavyzdžiui, žmogiškieji ištekliai linke dirbti nevisą savo darbo laiką prie vieno proceso egzemplioriaus arba dirbti grupėmis. Dažniausiai simuliacijos įrankiuose išteklius yra tiesiog prieinamas arba ne. Kitaip tariant, jei išteklius yra prieinamas, jis laukia darbo ir pradeda dalyvauti pirmame pasitaikiusiame procese (Aalst et al. 2008).
- Kai procesas gali pasikeisti priklausomai nuo konteksto. Dauguma simuliacijos įrankių mano, kad procesai yra stabilūs ir nesikeičia laike. Jeigu

srauto laikas tampa per ilgas, ištekliai gali nuspręsti praleisti tam tikras veiklas arba gali naudoti papildomus išteklius (Aalst *et al.* 2008).

## 2.2. Konkuruojantys verslo procesai su ribotais ištekliais ir jų simuliacija

Jau buvo minėta, kad realiame pasaulyje verslo procesai negali vykti be išteklių. Ištekliai yra riboti ir verslo procesai įprastomis sąlygomis konkuruoja dėl ribotų bendrai naudojamų išteklių. Panaši konkurencija yra sutinkama ir kompiuterių sistemose. Pavyzdžiui, duomenų bazių sistemose, kur užklausių konkurencija parodo, kad daug naudotojų bando pasiekti duomenis tuo pačiu metu. Tačiau versle šis aspektas vyksta kitaip ir tai nagrinėjama šiame poskyryje. Išanalizavus mokslinę literatūrą nustatyta, jog išteklių bendro naudojimo ir konkurencijos aspektas verslo procesų modeliavime ir simuliacijoje nėra plačiai nagrinėjamas.

Darbe išskiriame sekančius, dažniausiai sutinkamus, konkurencijos tipus verslo procesuose:

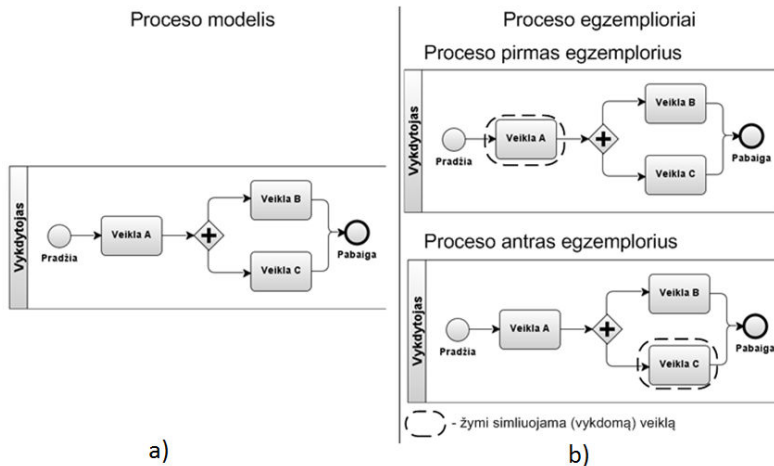
- konkurencija tarp to paties proceso egzemplioriaus skirtingų veiklų;
- konkurencija tarp skirtingų proceso egzempliorių (2.2 pav.);
- konkurencija tarp skirtingų procesų.

Bendrą išteklių naudojimą nėra lengva pavaizduoti statiniame (grafiniame) verslo proceso modelyje. Taip yra dėl to, kad įprastiniai modeliai vaizduoja vieno proceso egzemplioriaus elgseną. Realybėje, lygiagrečiai gali vykti daugiau nei vienas verslo proceso egzempliorius, kurį atlieka tas pats išteklius. 2.2 paveiksle pateikiamas proceso modelis ir keletas vykdomų ar simuliuojamų šio modeliuojamo proceso egzempliorių tam tikru laiko momentu. Šiuo laiko momentu vienas proceso egzempliorius vykdo Veiklą C (apibraukta punktyru 2.2 pav.), o antras proceso egzempliorius vykdo Veiklą A. Šios veiklos (A ir C) konkuruoja dėl ištekliaus Vykdytojas, tačiau jis yra tik vienas. Įprastos simuliacijos priemonės vykdys užduotį FIFO (angl. *First In First Out*) principu, t. y. tą, kuri pasirodė anksčiausiai veiklų vykdymo eilėje. Versle veiklos gali būti vykdomos kita tvarka ar vykstančios veiklos gali būti pertaikiamos, t. y. atlaisvinami užimti ištekliai (žmogiškieji ištekliai, įrenginiai) ir pradedamos vykdyti svarbesnės veiklos, o prie anksčiau vykdytos veiklos pratęsiamos (ištekliai grąžinami) vėliau ir jos užbaigiamos. Pavyzdžiui, atėjus klientui, konsultantas nutraukia vykdomas veiklas ir priimą užsakymą iš kliento ir tik po to tęsia prieš tai pradėtas veiklas.

Į verslo procesų konkurenciją dėl išteklių ar jų bendrą naudojimą svarbu atsižvelgti todėl, kad tai keičia proceso ar procesų vyksmą laike. Atitinkamai

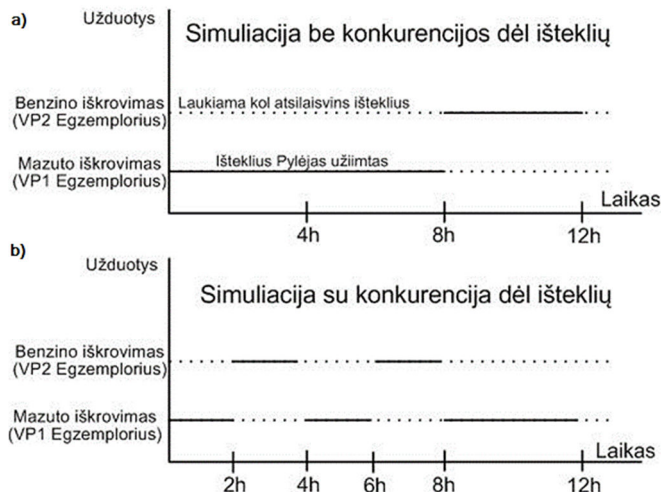


tai gali keisti, pavyzdžiui, ir įmonės gaunamas pajamas, aptarnautus klientus ar kitus pamatuojamus ir nuo laiko priklausančius parametrus.



**2.2 pav.** Pavyzdinio proceso modelis ir jo egzemplioriai a) verslo proceso modelis b) konkuruojantys proceso egzemplioriai

**Fig. 2.2.** Exemplary process model and its instances a) business process model b) competing instances of process



**2.3 pav.** Verslo procesų vykdymas: a) su konkurencija; b) be konkurencijos (Vasilecas *et al.* 2013)

**Fig. 2.3.** Business process execution: a) with concurrency; b) without concurrency (Vasilecas *et al.* 2013)

Panagrinėjus dviejų procesų sąveiką jų vykdymo metu, kai po vieną veiklą iš kiekvieno proceso konkuruoja dėl išteklių, galime pamatyti, kad pasikeis jų vyksmas laike. 2.3 paveiksle parodytas dviejų procesų pavyzdys, kurie dalinasi vienu darbuotoju (ištekliumi). Pirmu nagrinėjamu atveju (2.3a pav.) iškraunamas mazutas ir darbuotojas dirbą visą laiką prie šios veiklos. Tik baigęs veiklą jis imasi antros veiklos – benzino iškrovimo. Tačiau darbuotojas gali nutraukti tuo metu vykdomą veiklą ir imtis kitos veiklos, kuri tuo metu yra svarbesnė, t. y. nagrinėjamu atveju benzino iškrovimo. Tokiu atveju, bendras procesų vykdymo laikas nesikeičia, tačiau benzino iškrovimas baigiasi anksčiau, todėl galime anksčiau atlaisvinti vagonus, cisternas ir estakadą. Taip pat benzinu greičiau užpildoma talpykla ir, jei laukiama tanklaivio benzino pakrovimui, nevyks tanklaivio prastova. Reikia paminėti, kad šiuo atveju nevertiname perjungimo laiko tarp veiklų, tačiau modeliuojant ir simuliuojant procesus galima ir jį pridėti. Detaliau šios situacijos yra nagrinėjamos eksperimentuose.

### **2.3. Konkuruojančių verslo procesų su ribotais ištekliais problematika versle**

Verslo aplinkoje dažnai sutinkama konkurencija dėl išteklių, kurie realioje aplinkoje yra riboti. Iš to seka, kad verslo atstovai siekia optimizuoti verslo procesus, kad jie efektyviau panaudotų turimus išteklius. Optimizavimas, tai matematinė disciplina, kuria siekiama surasti funkcijos maksimumo ir minimumo reikšmės. Daugelis dabar plačiai naudojamų optimizacijos technologijų yra sukurtos antrojo pasaulinio karo metais, sprendžiant didelės apimties kareivių ir karo technikos perkėlimo logistines problemas. Reikalingi bet kokie technologiniai karo veiksmų optimizavimo metodai, ypač susiję su limituotų išteklių optimalesniu panaudojimu. Pirmuoju praktiniu didelės apimties optimizavimo metodu laikomas „simplex“, kurį pasiūlė George Dantzig 1947 metais. Šis metodas naudojamas iki pat šiol ir atsiradus pirmiesiems kompiuteriams metodas buvo patobulintas. Anksčiau skaičiavimus atlikdavo žmonės. Teigiama, kad praktinių optimizavimo metodų taikymas ir tobulinimas prisidėjo prie pirmojo kompiuterio sukūrimo (Thomas, 2009).

Reikia paminėti, kad versle optimizavimas iš matematinės pusės ne visada lengvai pritaikomas, todėl svarbu suprasti kaip optimizavimas taikomas praktikoje. Optimizavimas praktine prasme gali būti apibūdinamas kaip ribotų išteklių kiekio paskirstymas, siekiant išgauti geriausią efektą. Optimizacijai yra priskiriamas visų sričių planavimas, turimų išteklių paskirstymas, tvarkaraščių sudarymas, sprendimų priėmimas. Optimizavimas dažniausiai susitelkia į vieno aspekto tobulinimą: įvykdymo laiką, kainą, pelną ar kitus aspektus. Todėl optimizuojant tenka

ieškoti kompromiso – optimizuojant vieną faktorių nukenčia kitas (Peng, Cheng, Zhou, & Zhang, 2012).

Kitas dažnai paplitęs optimizavimo taikymas yra sistemos butelio kakliukų (angl. *bottleneck*) paieška. Tai sistemos kritinių vietų, kuriose nepakanka turimų resursų kiekio ir dėl to užlaikomas medžiagų arba informacijos srautas, ieškojimas. Optimizuojant šio tipo problemas yra stengiamasi atrasti šias vietas ir ieškoma būdų kaip optimaliau išnaudoti turimus resursus, kaip pakreipti srautą ar pridėti papildomų išteklių. Butelių kakliuko problemas sprendžiamos naudojant LEAN, apribojimų teorijos (TOC) ir kitus metodus.

Produkcijos planavimas ir tvarkaraščių sudarymas yra standartinė operacija gamyboje. Planavimas ir tvarkaraščių sudarymas naudojant planavimo kalbas yra sudėtinga užduotis (González-Ferrer, Fdez-Olivares, Castillo, & Morales, 2008). Verslui reikia lengvai suprantamos vartotojo sąsajos, greičio ir lengvumo norint pasiekti konkretų tikslą. Planavimas gali būti apibūdinamas kaip procesas, kuris priskirs ribotus išteklius laike, tenkins ar optimizuos keletą kriterijų (Li, 2010). Kitas apibrėžimas planavimą apibūdina kaip išteklių paskirstymą per tam tikrą laiką taip, kad tenkintų našumo kriterijus, kurie apibrėžti dalykinės srities (Jeong, 2000).

Viena egzistuojančių verslo procesų optimizavimo ir planavimo metodų problema yra tai, kad vis dar išlieka jų silpna integracija į egzistuojančias verslo informacines sistemas. Straipsnyje (Framinana & Ruizb, 2010) siūloma šią problemą spręsti, integruojant papildomus tam skirtus modulius verslo informacinių sistemų architektūroje. Bet tokių siūlymų nėra daug ir visi jie reikalauja didelių pakeitimų verslo informacinėse sistemose. Be to, čia dar reikia įvertinti ir tai, kad pasikeitus verslo procesams, anksčiau sukurtas planavimo modulis nebetenkins verslo poreikių ir jį reikės perkurti. Todėl pageidautina, kad toks planavimo modulis būtų pakeičiamas paprastai ir minimaliomis sąnaudomis.

Procesų optimizavimas neįmanomas nesuprantant vykstančio proceso. Verslo proceso modelis padeda perprasti ir dokumentuoti vykstantį darbų srautą. Optimizavimas dažniausia vyksta keičiant procesą, tačiau realybėje dažnai brangu išbandyti visus įmanomus proceso pakeitimo scenarijus, todėl tokiais atvejais gali būti naudojama verslo proceso simuliacija. Tuo pačiu verslo simuliacija gali padėti labiau suprasti esamą situaciją.

### **2.3.1. Planavimo ir plano sudarymo metodų apžvalga**

Proceso planas apibrėžia kokių gamybinių išteklių ir techninių operacijų ar kelių reikia norint pagaminti produktą (darbą) (Li, 2010). Operatyvinis planavimas fokusuojasi į gamybos, įrangos, personalo ir verslo procesus. Sprendimai priimti strateginiame lygyje turi įtaką ir sprendimams taktiniame ir operatyviniame lygmenyje (Venkateswaran & Son, 2005). Operatyvinio produkcijos planavimo

sprendimo pavyzdys: kasdieninis ar kas savaitinis gamybos tvarkaraštis, įtraukiant sekos sprendimus; klientų užsakymo apdorojimo ir tvarkaraščių sudarymas, medžiagų apdorojimo ir transporto tvarkaraščiai ir pan.

Planavimo procesai verslui yra svarbūs ir reikalauja įvairiapusių žinių bei gero susijusių verslo procesų ir juos atliekančių aptarnavimo sistemų apribojimų išmanymo. Planas gali būti sudaromas rankiniu arba automatizuotu būdu. Dažnai gamyboje naudojamas rankinis sudarymo būdas, kuris grindžiamas žmogaus planuotojo žiniomis ir patirtimi. Toks planas ne visada gali būti optimalus, tačiau tikėtina, kad planuotojas įgijęs daugiau patirties sugebės vis padaryti optimesni planą. Taip pat žmogus lengviau prisitaikys prie pasikeitusių verslo procesų nei automatizuotas plano sudarymas, kuris dažnai bus pritaikytas konkrečiai verslo situacijai. Žmogus sugebės įvertinti nenumatytus atvejus, tokius kaip gedimus ir pan. Straipsnyje (Rima, Šmaižys, Vasilecas, 2011) atlikta analizė parodė, kad versle naudojamos sprendimų rėmimo sistemos taip pat nėra greitai pritaikomos prie pasikeitusių verslo poreikių ir sukurto duomenų saugyklos, nepateikia visos reikalingos informacijos, kurios reikia priimti sprendimams.

Daugelis įrankių tvarkaraščiams sudaryti yra skirti darbuotojų darbo grafikams, kursų tvarkaraščiams ir pan. Tačiau gamybinių procesų tvarkaraščiams sudaryti kuriami produktai dažnai nėra atskiri, o yra tiesiog integruojami į organizacijose naudojamas ERP sistemas, kurių modifikavimas ir pritaikymas besikeičiantiems verslo poreikiams yra sudėtingas uždavinys. Kita įrankių grupė (pvz. Drools Planner) yra skirta tam, kad atskirtų planavimą ir tvarkaraščių sudarymą. Drools Planner yra verslo taisyklių valdymo sistemos Drools modulis skirtas automatinio planavimo problemoms spręsti, kurio pagrindas yra taisyklių variklis (Drools (OptaPlanner), 2016). Drools Planner gali būti panaudotas spręsti tokioms problemoms, kaip laiko planavimas, maršruto paieška, tvarkaraščių sudarymas ir kt. Naudojantis šiuo įrankiu planuojamo verslo proceso ribojimai yra užrašomi verslo taisyklėmis, joms kartu nustatant tam tikrą svorį, o sprendimo rezultatas išvedamas naudojant taisyklių variklį. Toks metodas leidžia verslo atstovams pateikti laiko planavimo taisykles jiems suprantama kalbą, o ne programinę kodą. Tačiau pagrindinis sistemos Drools trūkumas yra tai, kad ši verslo taisyklių valdymo sistema ir verslo taisyklės užrašytos DRL kalba yra skirtos įgyvendinti išskirtinai sistemose parašytose Java kalba.

### **2.3.2. Verslo procesų simuliacijos panaudojimo planavimui analizė**

Atlikus planavimo metodų taikomų versle analizę buvo nustatyta (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2012), kad plano ir tvarkaraščio sudarymas versle yra plačiai išnagrinė-

tas, tačiau pasiūlomi metodai retai pritaikomi praktikoje, nes šie metodai yra sudėtingi ir sunkiai sugeba lanksčiai prisitaikyti prie nuolat kintančios verslo situacijos reikalavimų, todėl reikalingi lengviau pritaikomi metodai.

Vienas iš būdų – verslo procesų simuliacijos panaudojimas. Dažniausia simuliacija yra naudojama ilgalaikiam planavimui ir taikoma gamybos sistemoms. Rečiau simuliacija taikoma trumpalaikiam planui sudaryti arba kitaip sakant operatyviniam planavimui (Son, Rodríguez-Rivera, & Wysk, 1999). Taip pat svarbu atsižvelgti, kad dažnai planavimui taikomi simuliacija pagrįsti metodai būna pritaikomi tik konkrečiai sričiai.

Realiuose verslo procesuose įeiga yra nenutrūkstama ir sunkiai prognozuojama. Dėl įvairių aplinkybių, kurių iš anksto numatyti negalima, nuolat kinta darbams atlikti naudojamų išteklių prieinamumo trukmė, todėl nuolat susidaro nukrypimai nuo tvarkaraščio ir plano. Verslo aplinka yra dinaminė, todėl dažniausia nagrinėjamas dinaminis dalinai nuoseklus tvarkaraščio sudarymo uždavinys, kai sąlygos nuolat keičiasi atsižvelgiama į nuokrypius, tuo pačiu koreguojamas planas (Kaliyamoorthy, Kumar, & Dominic, 2004). Verslo proceso simuliacija leidžia reaguoti į pasikeitusias aplinkos sąlygas ir planavime galima panaudoti VP simuliaciją sudarytą plano patikrinimui ir galimam jo pagerinimui. O tai pat, kai reikia įvertinti įvairias pradines sąlygas ir įvairių prielaidų pagrindu sudarytus planus ir VP simuliacijos rezultatų įvertinimo pagrindu atrinkti tinkamiausią variantą.

2.1 lentelėje pateikiami metodai, kuriuose simuliacija naudojama planavimui ir tvarkaraščio sudarymui. Planavimo eilutė nurodo, kad metodas leidžia planuoti ilgesniam laikui, o tvarkaraščio sudarymas ar patikrinimas yra aktualaus išteklių darbo tvarkaraščio sudarymui artimam laiko periodui. Mokslinėje literatūroje surasti ir išnagrinėti metodai nepalaiko VP modeliavimo BPMN kalba. Jeong metodas (Jeong, 2000) naudoja IDEF modeliavimo metodus, kas palengvina perkūrimo procedūras, t. y. kai pasikeičia verslo situacija ir verslo procesas. Jeong naudoja IDEF, metodo pristatymo metu dar nebuvo BPMN, todėl tikėtina buvo pasirinktas IDEF, tačiau kaip jau minėta IDEF nėra skirta VP modeliavimui.

Daugelis nagrinėtų metodų yra teoriniai ir nėra realaus pritaikymo arba pritaikyti tik konkrečiai situacijai (procesui) versle. Pavyzdžiui, metodas (Robbins & Harrison, 2008) pritaikomas skambučių centrui. Metodai nėra integruojami į bendras IS ar ERP sistemas įmonėje. Vieni metodai generuoja tvarkaraščius ir parenka geriausią tvarkaraštį. Simul8 programinė priemonė siūlo integraciją į egzistuojančias verslo informacines sistemas. Vienas iš nagrinėtų metodų palaiko verslo taisykles. Kadangi daugelis simuliacija pagrįstų metodų nenaudoja verslo taisyklių, iš to seka, kad tokia simuliacija gali būti nelanksti ir sunkiai pakeičiama. Daugelis metodų naudoja diskrečių įvykių simuliaciją, tai parodo, kad šis simuliacijos tipas yra tinkamiausias.

**2.1 lentelė.** Simuliacijos metodų planavimui palyginimas**Table 2.1.** A comparison of simulation methods for planning

Autorius arba metodas	SIMUL8-PLANNER, 2003	Venkateswaran J., Son Y., 2005	Kovács A., Váncza J., 2003	Robbins T. R., Harrison T. P 2008	Mazziotti B. W., Horne R. E., 1997	Jeong, K., 2000
Verslo proceso modelis BPMN	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Pritaikytas tik konkrečiai situacijai	Ne	Ne	Taip	Taip	Ne	Taip
Integracija į IS ar ERP	Taip	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Simuliacijos tipas	Než.	SD, DĮS	DĮS	DĮS	Než.	DĮS
Planavimas	Ne	Taip	Taip	Ne	Taip	Taip
Tvarkaraščių sudarymas/patikrinimas	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip	Ne
Realus pritaikymas	Taip	Ne	Ne	Taip	Ne	Ne
Taisyklės	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Taip

Verslo proceso simuliaciją tikslinga naudoti tada, kai reikia operatyvinio planavimo, todėl tokia VP simuliacija turi būti atnaujinama ir pritaikoma prie egzistuojančių proceso pasikeitimų. Nagrinėti metodai nenaudoja verslo proceso apibrėžimo BPMN, o kaip jau minėta, aprašymas verslo proceso BPMN yra suprantamas ir verslo atstovams ir techniniams specialistams, taip pat vis daugiau įmonių BPMN naudoja aprašyti daugumai įmonės procesų, todėl tikslinga turėti vieną VP aprašymo būdą, kuris galėtų būti pritaikomas ir verslo procesų oje ir tuo pačiu operatyviniame planavime. Išnagrinėti metodai verslo procesą apibrėžia savo notacija ar aprašo juos išreikštinėmis formulėmis, kas yra sunkiai suprantama verslo atstovams, o vėliau tokį modelį yra sudėtinga pakeisti. Dažniausia planuojami yra ištekliai, t. y. ar užteks išteklių įvykdyti vieną ar kitą procesą, todėl verslo procesų modeliuose ir jų simuliacijoje turi būti atvaizduojami ir modeliuojami ištekliai. Išteklių modeliavimo problematika ir sprendimo būdai nagrinėjami kitame skyriuje.

## 2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Egzistuojančiose VP modeliavimo ir simuliacijos priemonėse nėra pakankamai atsižvelgta į ribotų išteklių bendrą naudojimą VP. Tai yra, egzistuojančios priemonės negali modeliuoti ir simuliuoti verslo procesų, kai išteklius naudojamas keliose proceso veiklose vienu metu arba veiklos, naudojančios išteklių, pertraukiamos tam, kad išteklių būtų galima panaudoti kitoje veikloje, kuri tuo laiko momentu yra svarbesnė.
2. Nustatyta ir aprašyta VP veiklų konkurencija, dėl ribotų ir bendrai naudojamų išteklių. Tokios konkurencijos atvejai yra: tarp to paties proceso egzemplioriaus skirtingų veiklų, tarp skirtingų proceso egzempliorių ir tarp skirtingų procesų.
3. VP simuliacija ir ištekliai verslo aplinkoje gali būti panaudoti operatyviniame planavime, nes paprastai proceso planavimas glaudžiai susijęs su ištekliais.
4. Viena iš VP modeliais grindžiamos simuliacijos pritaikymo sričių yra planavimas. Kadangi pirmame skyriuje atlikta analizė parodė, kad BPMN modeliai yra plačiai naudojami įmonėse – dažniausia procesų dokumentavimui, todėl tikslinga panaudoti tokius modelius ir VP simuliacijai. VP simuliacijos rezultatus galima naudoti VP išteklių planavimui, tačiau egzistuojantys simuliacijos metodai nėra pakankamai išvystyti, nėra atsižvelgiama į išteklių bendrą naudojimą ir konkurenciją dėl jų.





---

## Konkuruojančių verslo procesų modeliavimo ir simuliacijos metodas

Šiame skyriuje pasiūlomas verslo procesų (VP), konkuruojančių dėl ribotų bei bendrai naudojamų išteklių, modeliavimo ir simuliacijos metodas. Be to, pasiūlomas metodas ištekliams ir jų savybėmis specifikuoti VP modelyje. Modeliams sudaryti siūloma naudoti BPMN standartą, kuris yra plačiai paplitęs VP analizės srityje. Dalis skyriaus medžiagos pristatyta (Rima, Vasilecas 2015), (Vasilecas, Šmaižys, Rima 2013a), (Vasilecas, Laureckas, Rima 2014b) straipsniuose.

### 3.1. Verslo proceso su bendrai naudojamais ištekliais simuliacijos metodo taikymas ir apribojimai

Norint atlikti verslo proceso pokyčių analizę, detalai ištirti procesą, kai proceso pakeitimai realybėje yra per brangūs, reikalingi kiti būdai proceso analizei. Vienas iš būdų – sukurti proceso analitinį metodą. Kaip buvo minėta pirmame skyriuje, kai neįmanoma arba sudėtinga sukurti matematinį verslo proceso modelį, tuomet proceso analizei geriau kurti VP simuliacinį modelį. Darbe siūlomas metodas skirtas analizuoti verslo procesus (VP), naudojančius išteklius, kurių atliekamas dar-

bas gali būti pertraukiamas, tam kad atlikti aukštesnio prioriteto veiklas. Tai dažnai galioja žmogiškiems ištekliams ir kai kuriems įrenginiams, kuriems nereikia persijungimo laiko. Metodas gali būti pritaikomas VP gamybos įmonėse ir kitose įmonėse.

Nagrinėjamas egzistuojantis VP turi būti detaliai išanalizuotas. Jei kuriamas naujas procesas, tuomet turi būti pasitelkiami srities ekspertai, kad įvertintų sukurto modelį. Atlikus pradinę VP analizę turi būti nustatyta ar proceso veiklos dalinasi ištekliais su kitomis veiklomis tuo pat metu. Taip pat nagrinėjamas procesas turi turėti veiklų, kurių neįmanoma automatizuoti informacinėse sistemose, t. y. procese turi būti materialus srautas ir informacinis srautas. Jei procesą galima automatizuoti (kompiuterizuoti), tai galima jį ir įgyvendinti informacinėje sistemoje ir atlikti testavimus, o ne atlikti verslo proceso simuliaciją.

### **3.2. Informacinio ir materialaus srauto modeliavimas**

Norint panaudoti simuliaciją VP planuoti, pirmiausia būtina išskirti, standartizuoti ir dokumentuoti VP. Siekiant tinkamai dokumentuoti organizacijos VP, reikia naudoti visiems verslo atstovams aiškią žymėjimo sistemą. VP modelius dažniausiai sukuria dalykinės srities ekspertai. Vėliau šie modeliai panaudojami kuriant programinę įrangą, kuri koordinuoja, stebi ir kontroliuoja visas ar dalį VP veiklų.

Kuriant informacines sistemas (IS) atliekama VP analizė, kurios metu nustatomi ir dokumentuojami VP, sukuriama atitinkamus jų modelius. Dažnai IS kūrėjai analizuoja tik informacinį verslo proceso srautą, t. y. tik tas veiklas, kurios gali būti visiškai ar iš dalies automatizuojamos (realizuojamos) kuriant IS. VP simuliacijos požiūriu svarbu sumodeliuoti ne tik informacinį srautą, tačiau ir materialųjį, kuris įtakoja proceso elgseną, pvz. gaminio ar medžiagų judėjimą per skirtingas proceso veiklas.

Modeliuojant VP turi būti atvaizduotos tik pagrindinės veiklos. Verslo proceso modelis neturi būti apkraunamas procesą neįtakančiomis ar visiškai nestandartinėmis verslo proceso situacijomis (išimtimis), kurios įvyksta retai. Tokių veiklų modeliavimas apsunkintų VP suvokimą ir taip pat įtakotų tolimesnius simuliacinio modelio netikslumus. Be to, jei tai yra nestandartinė VP vyksmo situacija, realybėje gali būti nežinoma kaip procesas vyks, ypač jei tose situacijose dalyvauja žmogiškieji ištekliai ir reikalinga priimti sprendimus, kurie gali būti iš anksto nežinomi. Tinkamai VP simuliacijai, būtina atpažinti visus veiklų vykdytojus ir ribotus išteklius, kurie reikalingi proceso įėjai transformuoti į išėgą. Toms veikloms, kurios nėra automatizuojamos turi būti nustatomas vidutinis veiklų vykdymo laikas. Taip pat turi būti nustatoma ar ištekliai gali būti naudojami nuolatos ar tik tam tikru metu, ir ar jie gali būti lygiagrečiai naudojami keliuose veiklose.

### 3.3. Verslo proceso su bendrai naudojamais ištekliais simuliacijos metodo formulavimas

Verslo proceso kontekstas yra aibė aplinkos savybių, kurios įtakoja VP vykdymą (De La Vara, Ali, F., & J., 2010) (Rosemann, Recker, & Flender, 2008). Todėl šios savybės turi būti įtraukiamos modeliuojant VP. Iš to seka, kad ir VP simuliacijos tikslumui yra labai svarbus VP kontekstas. Pasikeitus VP kontekstui, simuliacijos rezultatas turėtų pateiktų rezultatus, kurie būtų teisingi ir naujam kontekstui. Kontekstas ir jo pasikeitimas dažnai apibrėžiamas ir keičiamas verslo taisyklėmis.

Ištekliai yra verslo proceso konteksto dalis. Išteklių trūkumas, jų nebuvimas ar darbo savybių pasikeitimas įtakoja verslo proceso vykdymą. Todėl išteklių, kurie labiausiai įtakoja verslo procesą, atpažinimas ir aprašymas verslo procesų modelyje yra konteksto apibrėžimas.

Pasiūlytame metode (3.1 pav.) modeliuojami ištekliai ir jų galimas darbo nutraukimas ir darbo atlikimas kitoje veikloje, o tai yra VP konteksto pasikeitimas, bei tai keičia ir proceso vykdymą laike.

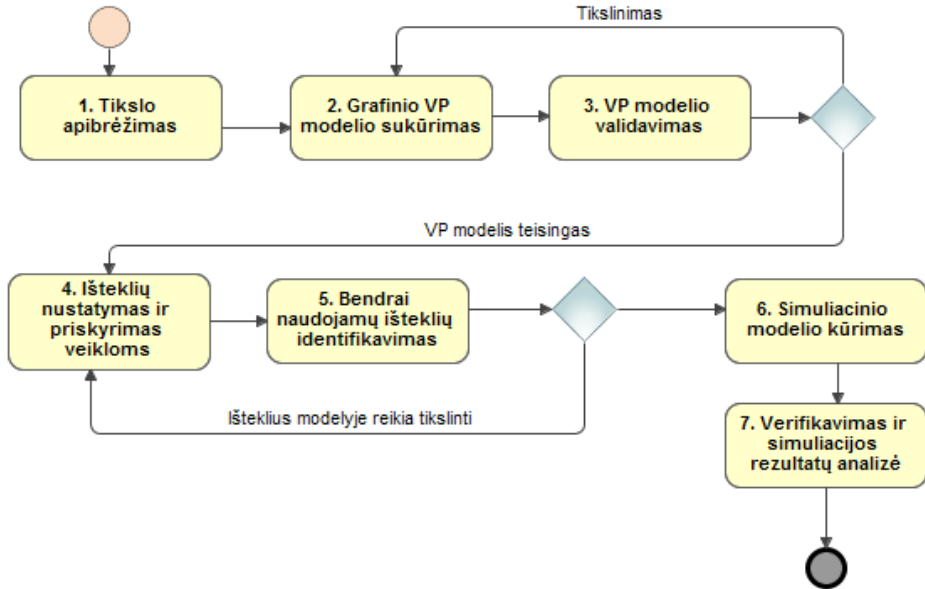
Pirmiausia reikia apibrėžti kuriamo modelio ir simuliacijos tikslą (3.1 paveiksle 1-a veikla). Kiekvienas simuliacinis modelis turi būti kuriamas nustatytam tikslui, pavyzdžiui, naftos produktų transportavimo VP optimizavimo tikslas gali būti paskaičiuoti didžiausią produktų kiekį, kurį galima perpilti iš vagonų cisternų į antžemines talpyklas ir paskaičiuoti daugiausiai pajamų generuojantį produktą. Taigi, modelio sudarymas prasideda nuo tikslo ir problemos atpažinimo. Šiame žingsnyje gali būti apibrėžti uždaviniai ir klausimai į kuriuos reikės atsakyti kuriant simuliacinį modelį.

Kitas žingsnis yra statinio grafinio modelio sukūrimas (3.1 paveiksle 2-a veikla). Šis modelis turi būti aiškus ir proceso analitikui, ir verslo atstovams bei atspindėti realią proceso eigseną. Sukurtas VP modelis yra simuliacinio modelio pagrindas. Jei šiuo metu padaroma klaida, tai vėlesniuose etapuose šią klaidą ištaisyti bus pakankamai sudėtinga. Reikia pastebėti, kad mes neatskiriame verslo proceso analizės ir modeliavimo, nes, mūsų manymu, analizė ir modeliavimas yra vykdomas kartu ir tai yra iteracinis procesas. Šiame etape svarbu sumodeliuoti kontrolės srautą, kuriam atvaizduoti tinkamiausia BPMN. Taip pat modeliujamos ne tik informacinės veiklos, t. y. veiklos susijusios su informacijos apdorojimu arba veiklos, kurios gali būti pilnai automatizuojamos (įgyvendinamos informacinėse sistemose), bet ir veiklos, kurios apdoroja materialų srautą.

Sudarius VP modelį, jis turi būti patikrinamas (validuojamas) (3.1 paveiksle 3-a veikla). Pirmiausia gali būti naudojama žymės (angl. *token*) animacija, kad patikrintume modelio logiškumą. Tam gali būti panaudotas BPMN-simulator<sup>1</sup> ar

<sup>1</sup> <http://code.google.com/p/bpmn-simulator/>

panašus įrankis, kuris yra skirtas simuliuoti žymės judėjimą. Šis sukurtas modelis patikrinamas verslo atstovų (procesų savininkų) ir, jei nėra korekcijų, pereinama prie kito žingsnio. Priešingu atveju grįžtama į modeliavimo stadiją.



**3.1 pav.** Verslo proceso su bendrai naudojamais ištekliais simuliacijos metodo algoritmas

**Fig. 3.1.** Algorithm for business process with shared resources method

Atlikus VP validaciją, vykdomas išteklių atpažinimas ir priskyrimas proceso veikloms (3.1 paveiksle 4-a veikla). Sumodeliavus proceso darbo srautą, svarbu nustatyti proceso naudojamus išteklius arba išteklius, kurie atlieka proceso veiklas. Kaip jau minėta ankstesniuose skyriuose, dauguma procesų negali vykti be išteklių ir dažniausiai versle naudojami ištekliai yra riboti. Jei daroma prielaida, kad ištekliai yra neriboti, jų modeliuoti procese nebūtina, nes jie neįtakos verslo proceso. Juos modeliuoti galima nebent tuo atveju, jei norima sužinoti, koks išteklių kiekis yra sunaudojamas verslo procese. Turėtų būti išskiriami tik tie ištekliai, kurie yra kritiniai procesui, o išteklių svarbumą turėtų nuspręsti analitikas. Kritiniai ištekliai yra tokie ištekliai, kurių nebuvimas ar kurių kiekis bei darbo greitis gali įtakoti VP vykdymą. Ištekliams vaizduoti BPMN proceso diagramoje naudojame pasiūlytą notacijos praplėtimą, kuris aprašomas vėliau poskyryje „Išteklių grafinis modeliavimo metodas“. Eksperimentai ir analizė parodė, kad ši veikla yra netriviali ir sudėtinga nustatyti visus reikalingus išteklius ir juos priskirti veikloms (Vasilecas et al. 2015). Šiame žingsnyje turi būti nustatomi ir kiti

reikalingi simuliacijos parametrai, tokie kaip vidutinis veiklų vykdymo laikas, išteklių naudojimo kaina, išteklių kiekis, jų prieinamumas.

Konkurencijos modelio sukūrimo arba bendrai naudojamų išteklių atpažinimo žingsnyje (3.1 paveiksle 5-a veikla) nustatomos veiklos, kurios gali būti nutrauktos ir ištekliai, kurie gali persijungti tarp veiklų vykdymo, t. y. jei veikla trunka ilgą laiką, tuomet išteklius po tam tikro veiklos vykdymo laiko gali persijungti vykdyti kitą veiklą, kuriai jis reikalingas, o vykdoma veikla, kuri tuo momentu naudoja išteklių, yra sustabdoma.

Simuliacinio modelio sukūrimo žingsnyje (3.1 paveiksle 6-a veikla) verslo proceso modelis pritaikomas simuliaciniam įrankiui, nustatomi reikalingi simuliacijos scenarijai. Naudojant sukurtą simuliacinį modelį ir scenarijus atliekama VP simuliacija. Norint sukurti simuliacinį modelį gali reikėti atlikti tam tikras transformacijas iš VP modelio į simuliacinį modelį.

Verifikavimas ir simuliacijos rezultatų analizė (3.1 paveiksle 7-a veikla) – šios veiklos metu yra vykdoma VP simuliacija ir analizuojami duomenys, keičiami simuliacijos nustatymai, atliekama duomenų analizė reikiamaiais pjūviais pagal nustatytą simuliacijos tikslą. Remiantis simuliacijos rezultatais, galima keisti ir realų VP.

### 3.4. Išteklių modeliavimo savybės ir reikalavimai

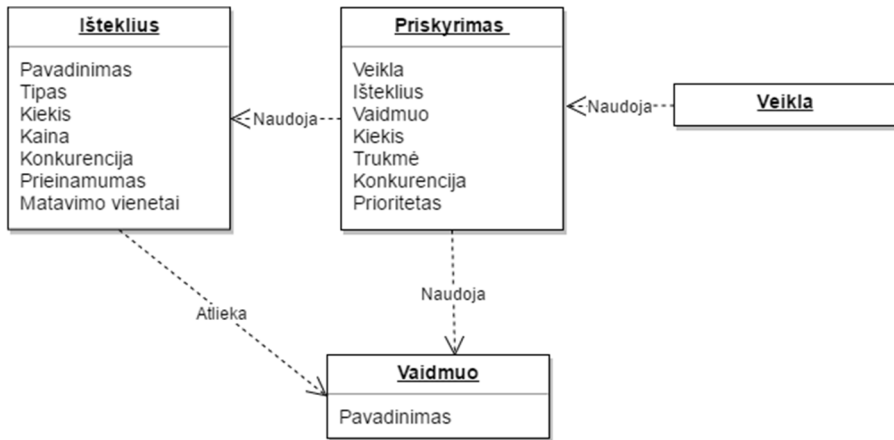
Simuliacijai atlikti reikalinga apibrėžti išteklius, kurie turi būti aprašomi tam tikromis savybėmis. Išteklius turi būti priskirtas verslo proceso veiklai ar keletui veiklų. Išanalizavus mokslinę literatūrą ir simuliacijos įrankius buvo atrinktos išteklių savybės, taip pat pasiūlytos naujos savybės, kurios reikalingos išteklių modeliavimui verslo procesuose ir tolimesnei verslo procesų simuliacijai. Savybės pristatytos straipsniuose (Vasilecas, Laureckas, Rima 2014a), (Rima, Vasilecas 2015) (Vasilecas, Rima, Laureckas, 2014b) ir (Vasilecas *et al.* 2015):

1. Grafinis vaizdavimas – verslo proceso grafiniame modelyje turi būti galimybė atvaizduoti išteklius.
2. Išteklių tipas – turi būti galimybė nurodyti ar išteklius yra sunaudojamas ar panaudojamas. Pagal šią savybę simuliacijos įrankis spęs ar išteklių reikia grąžinti į išteklių saugyklą atlikus susijusios veiklos simuliaciją.
3. Laiko parametrai – turi būti galimybė nurodyti parametrus, kurie nurodytų laiko intervalą, kuomet išteklius yra prieinamas. Pavyzdžiui, žmogaus darbo laikas.
4. Kaina – turi būti galimybė nurodyti santykinę vertę, kurią sukuria ar sunaudoja išteklius (pavyzdžiui, darbo valandos kaina, darbo valandos pridėtinė vertė, sunaudojamų vienetų kiekis).

5. Vaidmuo – išteklius gali atlikti keletą funkcijų įmonėje, todėl turi būti galimybė priskirti ištekliui tam tikrą vaidmenį ar net kelis vaidmenis. Pavyzdžiui, įmonės darbuotojas gali atlikti administratoriaus ir vadybininko vaidmenis.
6. Prioritetas – turi būti galimybė nustatyti prioritetą, kuris nurodytų kurioje veikloje dalyvavimas yra svarbesnis. Taip pat atsižvelgiama ar veiklai yra galimybė nurodyti kurio išteklių naudojimas yra svarbesnis.
7. Kiekis – turi būti galimybė nurodyti tam tikrų išteklių turimą kiekį. Turi būti nurodomas bendras prieinamas išteklių kiekis procesui ir veiklos sunaudojamas ar panaudojamas išteklių kiekis. Pavyzdžiui, veiklai atlikti reikalingas vienas darbuotojas, o įmonėje yra du darbuotojai.
8. Prieinamumas – nurodo ar išteklius konkrečiu metu gali būti naudojamas (išteklius yra prieinamas naudoti). Tai svarbu procesų simuliacijoje. Veikla, kuri naudoja išteklių, turi pakeisti pastarojo būseną, kad išteklius taptų neprieinamas (užimtas). Taip pat galima keisti pradinę simuliacijos būseną, nurodant, kad ištekliai yra užimti arba laisvi.
9. Konkurencijos (lygiagretaus darbo) savybė (Vasilecas *et al.* 2013) – atsižvelgiama ar išteklius gali dalyvauti veiklose (užduotyse) vienu metu, t. y. ar gali būti bendrai naudojamas. Apibrėžiama, kad išteklius ar veikla gali pertraukti vykdomą darbą ir atlikti kitą veiklą.
10. Vykdomo trukmė – apibrėžia kiek laiko išteklius vykdo priskirtą veiklą. Dažniausiai naudojama vidutinė vykdymo trukmė, tačiau galima apibrėžti ir tikimybinę veiklų vykdymo trukmę.
11. Išteklius turi būti priskirtas veiklai, jei jis naudojamas procese. Viena veikla gali turėti (naudoti) keletą išteklių.

3.2 paveiksle pateikta išteklių aprašymo struktūra, o disertacijos A priede pateikta išteklių aprašymo schema. Veikla naudoja priskyrimo esybę ištekliui priskirti. Priskyrimas aprašo veiklos savybes, kurios reikalingos simuliacijos metu. Priskyrimas naudoja arba išteklių arba išteklių rolę pasirinktinai nuo modeliavimo situacijos. Išteklius yra aprašomas su visomis savybėmis ir verslo procese ar bendru atveju įmonėje gali atlikti tam tikrą vaidmenį, pavyzdžiui, žmogus gali dirbti ir operatoriumi, ir užsakymų priėmėju. Atitinkamai šioms rolėms bus skirtingi procesai, tačiau išteklius bus tik vienas darbuotojas.

Apibendrinat išteklių savybes ir literatūros analizę buvo pastebėta, kad nėra universalus būdo visiems ištekliams ir jų savybėms modeliuoti. Išteklių modelis gali būti kuriamas konkrečiam verslo procesui ir aprašomos tokiam atvejui reikalingos savybės. Išteklių reikalavimai pasiūlyti nagrinėjant įmonės VP ir atliekant VP simuliacijas, tai pristatyta straipsniuose (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2012), (Budrytė, Šmaižys, Rima 2013).



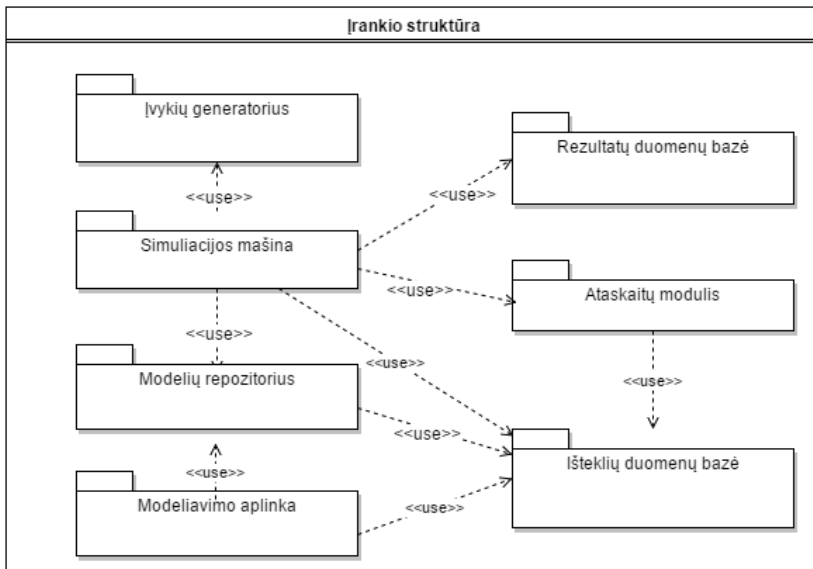
**3.2 pav.** Išteklių aprašo struktūra verslo procesų modeliavimui  
**Fig. 3.2.** A structure of resource definition for business process modelling

### 3.5. Reikalavimai simuliacijos įrankiui

Tyrimų metu buvo suprojektuotas ir įgyvendintas simuliacijai priemonės išplėtimas, kuris palaiko siūlomą metodą. Simuliacijos priemonės architektūra pateikiama 3.3 paveiksle.

VP simuliacijos įrankis yra sudarytas iš šių komponentų:

- simuliacijos mašina (angl. *simulation engine*) – komponentas, kuris atsakingas už verslo proceso simuliaciją. Variklis turi sugebėti apdoroti aprašytą verslo proceso modelį ir naudojamas įvykių generatorius simuliuoti pateiktą verslo procesą;
- modeliavimo aplinka – skirta modeliuoti verslo procesus naudojant BPMN;
- išteklių duomenų bazė – išteklių duomenų bazėje aprašomi visi reikalingi ištekliai ir jų savybėmis;
- simuliacijos rezultatų duomenų bazė – įrašomi simuliacijos rezultatai iš kurių vėliau generuojamos ataskaitos;
- įvykių generatorius – įvykių failas arba algoritmas, kuris vykstant simuliacijai generuoja įvykius;
- ataskaitų modulis – ataskaitos gali būti generuojamos realiu laiku arba vėliau iš duomenų, kurie išsaugomi simuliacijos rezultatų duomenų bazės. Pagal apibrėžtą simuliacijos tikslą gali būti generuojamos skirtingos ataskaitos.



**3.3 pav.** Simuliacijos įrankio struktūra

**Fig. 3.3.** A structure of simulation tool

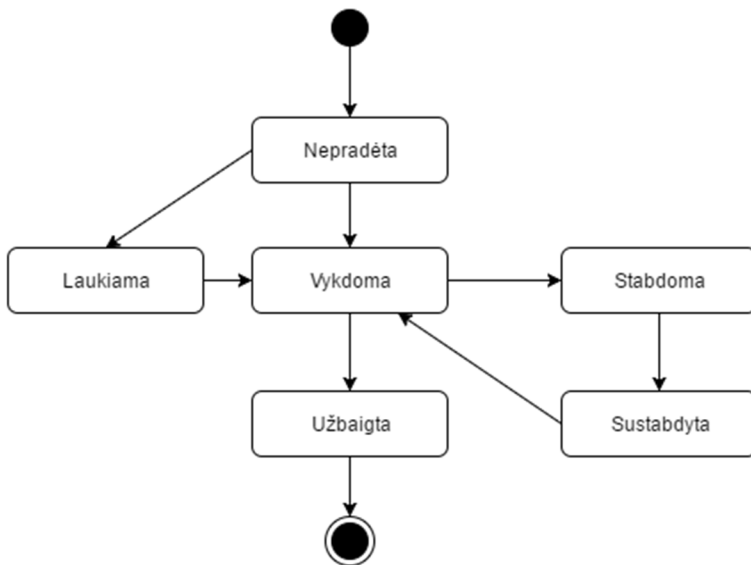
Pasiūlyta simuliacijos įrankio struktūra lyginant su kitais įrankiais skiriasi tuo, kad yra naudojama reliacinė duomenų bazė ištekliams saugoti. Norint simuliuoti verslo proceso modelį reikia tinkamos simuliacijos mašinos ir jai pritaikyto verslo proceso simuliacinio modelio. Simuliacijos įrankiui keliami tokie reikalavimai (Vasilecas, Laureckas, Rima 2014a), (Rima, Vasilecas 2015) (Vasilecas *et al.* 2015):

1. Turi palaikyti diskrečiais įvykiais paremtą simuliaciją.
2. Ištekiai aprašomi duomenų bazėje, todėl įrankis ir simuliacijos mašina turi palaikyti išteklių saugyklą išorinę reliacinę duomenų bazę. Siekiama, kad visi įmonės ištekiai būtų saugomi vienoje saugykloje, taip palengvinant ir pagreitinant VP modelių kūrimą, nes įmanoma panaudoti išteklius pakartotinai.
3. Simuliacijos mašina turi mokėti juos nuskaityti ir nustatyti atributą, kad išteklius naudojamas (užimtas) ir baigus veiklą nustatyti, kad išteklius laisvas.
4. Turi galėti simuliuoti keletą proceso egzempliorių vienu metu.
5. Bazinis verslo proceso modelis turi būti BPMN. Simuliacijos variklis turi sugebėti interpretuoti pagrindinius BPMN elementus.
6. Simuliacijos mašina (angl. *engine*) yra komponentų rinkinys palaikantis funkcijas, kurios reikalingos norint įgyvendinti diskrečių įvykių si-



muliaciją. Ji turi mokėti interpretuoti visas aukščiau (3.4 skyrelyje) aprašytas išteklių savybes. Pavyzdžiui, jei išteklius yra užimtas ir jis neturi apibrėžtos konkurencijos savybės, tuomet simuliacijos variklis atliekamą darbą turi statyti į eilę ir laukti kol reikiamas išteklius atsilaisvins. Šios savybės algoritmas aprašomas žemiau (3.6 pav.).

7. Simuliacijos mašina turi palaikyti veiklų, procesų ir veiklų konkurenciją dėl išteklių arba jų bendrą naudojimą.
8. VP simuliacijos įrankis turi pateikti ataskaitą apie įvykdyta simuliaciją ir/arba simuliacijos duomenis įrašyti į duomenų bazę.
9. Turi būti galimybė gauti informaciją apie išteklių ir simuliacijos būseną bet koku momentu.
10. Turi būti galimybė išanalizuoti simuliacijos rezultatus. Ataskaitos gali būti generuojamos realiu laiku arba duomenys imami iš simuliacijos rezultatų duomenų bazės; iš šių duomenų gali būti generuojami skirtingos ataskaitos.



**3.4 pav.** Veiklų būsenos simuliacijos metu

**Fig. 3.4.** Activity states during simulation

Priešingai nei pirmame skyriuje apžvelgtose priemonėse, kuriose nėra realiizuota galimybė atlikti simuliaciją kuomet veiklos konkuruoja dėl išteklių ir juos bendrai naudoja, pasiūlytas metodas siūlo nustatyti veiklas su bendrai naudojamais ištekliais, t. y. tokias veiklas, kurios gali būti vykdymo metu nutrauktos, o vėliau vėl grįžtama prie šių veiklų vykdymo. Šiam tikslui pasiekti galimi du būdai.

Vienas iš būdų yra verslo proceso modelio veiklų diskretizavimas. Kitas būdas – realizuoti simuliacijos mašinos algoritmą, kuris subėgėtų pertraukti simuliuojamą veiklą.

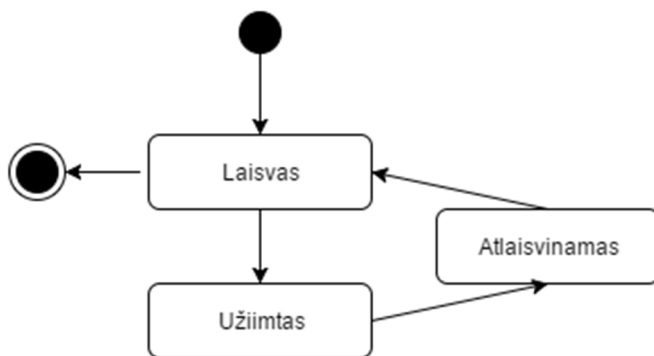
### 3.1 lentelė. Būsenų perėjimo sąlygos

**Table 3.1.** Conditions for state transition

		Pereinama iš būsenos				
		Nepradėta	Laukiama	Vykdoma	Stabdoma	Sustabdyta
Pereinama į būseną	Laukiama	Ištekliai užimti				
	Vykdoma	Ištekliai prieinami	Ištekliai atlaisvinti ir prieinami			Ištekliai prieinami
	Stabdoma			Ištekliai atlaisvinami, išsaugoma duomenis		
	Sustabdyta				Ištekliai atlaisvinti, Veiklos vykdymo statusas išsaugotas	
	Užbaigta			Veikla užbaigta		

Simuliacijos metu veiklos gali turėti keletą būsenų ir šios būsenos aktualios veiklų konkurencijos dėl išteklių realizavimui simuliacijos mašinoje. Kai vykdoma simuliacija, veiklos egzempliorius įgyja būseną Vykdoma, o kai simuliacija su veiklos egzemplioriumi baigta – būseną Užbaigta. Jei ištekliai reikalingi veiklai atlikti yra užimti, tuomet veiklos būseną keičiama į būseną Laukiama. Kai Vykdoma veikla yra pertraukiama, tuomet veikla įgyja būseną Stabdoma. Šios būsenos metu turi būti išsaugomi duomenys, kiek veiklos jau atlikta iki jos sustabdymo. Kai veikla pilnai sustabdoma jos būseną pakeičiama į būseną Sustabdyta. Iš Sustabdytos būsenos veikla gali būti grąžinama į būseną Vykdoma. Veiklos būsenų perėjimo diagrama pavaizduota 3.4 paveiksle, o 3.1 lentelė pateikia būsenų perėjimo sąlygas.

Panaudojamo tipo išteklius gali turėti būsenas: laisvas, užimtas ir atlaisvinamas (3.5 pav.). Būsena Laisvas – tai pradinė būsena, kai išteklius yra neužimtas jokia veikla. Būsena Užimtas – tai išteklius šiuo metu atliekantis darbą veikloje. Būsena Atlaisvinamas reiškia, kad išteklius iš užimtos būsenos pervedamas į būseną Laisvas. Ši būsena reikalinga tam, kad ištekliui būtų galima nustatyti persijungimo laiką tarp veiklų. Išteklių su šia būsena negalima naudoti veikloje kol jis nėra laisvas. Būsenos kaip tuščias arba sunaudotas panaudojamo išteklių tipui negali būti, nes toks išteklius yra arba užimtas arba laisvas. Sunaudojamam ištekliui gali būti būsena tuščiais, bet jei išteklius sunaudotas tai apibrėžia jo kiekio savybė, kuri bus lygi nuliui. Išteklių galimas būsenų perėjimas pavaizduotas (3.5 pav.).



**3.5 pav.** Panaudojamo išteklių būsenos

**Fig. 3.5.** States of used resource

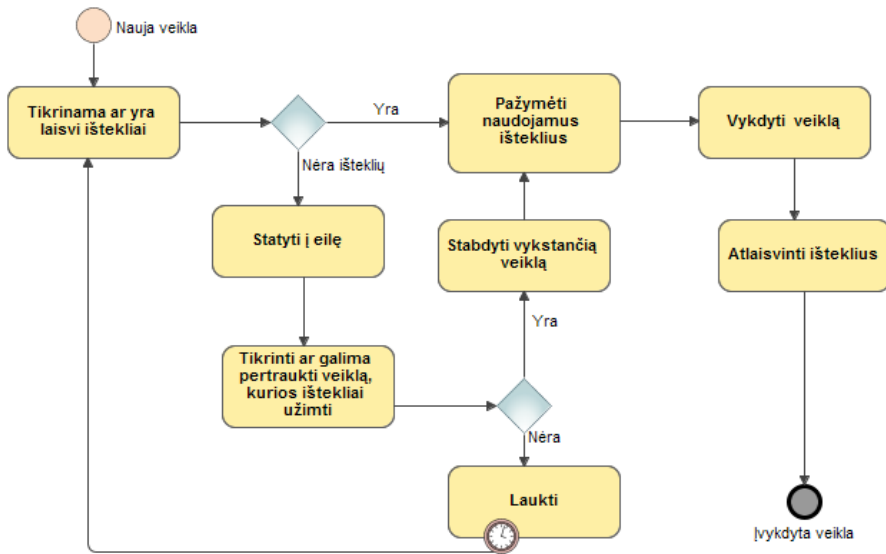
3.6 paveiksle pavaizduotas algoritmas, kuris VP simuliacijos metu įvykus įvykiui, informuojančiam, kad reikia vykdyti naują veiklą, vykdo išteklių tikrinimą ir stato į eilę arba pradeda naują veiklą vykdyti.

Pirmiausia tikrinama ar yra laisvi visi reikalingi ištekliai veiklos simuliacijos vykdymui. Jei ištekliai laisvi, tuomet pradama vykdyti veiklos simuliaciją ir išteklių duomenų bazėje pažymima, kad ištekliai yra naudojami arba priklausomai nuo išteklių sumažinamas išteklių kiekis. Toliau yra vykdoma veikla ir jei ji nėra pertraukiama ištekliai, jei tokių buvo, yra atlaisvinami.

Jei ištekliai užimti, tuomet veikla statoma į eilę, kurioje laukiama kol atsilaivins ištekliai. Įtraukus veiklą į eilę toliau tikrinama ar išteklius vykdo veiklą, kurią galima pertraukti. Jei negalima veiklos pertraukti, tuomet yra laukiama kol ištekliai atsilaivins. Jei veiklą galima pertraukti, tuomet veikla pertraukiama ir atitin-

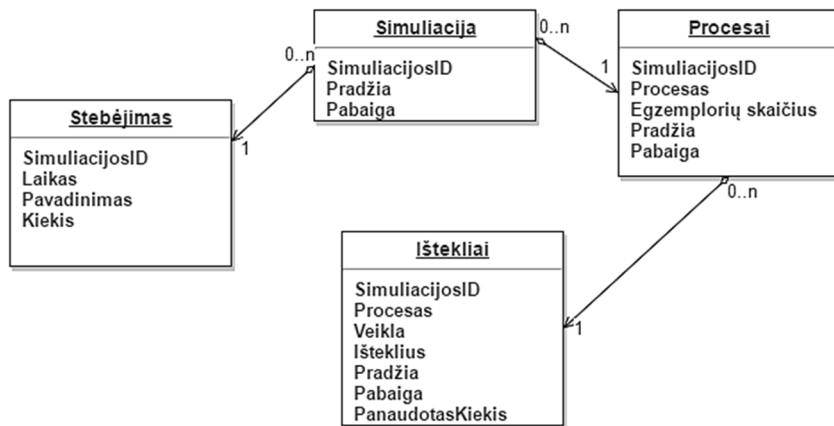
kamai pardedama vykdyti nauja veikla. Veiklos pertraukimo metu turi būti išsaugoma būsena apie sugaištą laiką ir sunaudotus išteklius, kad vėliau būtų galima pratęsti simuliaciją nuo šios būsenos.

VP simuliacija turi sugeneruoti duomenis simuliacijos analizei. Simuliacijos rezultatai gali būti išvedami naudojant simuliacijos įrankio priemones arba išsaugomi duomenų bazės lentelėse.



**3.6 pav.** Algoritmas simuliacijos metu tikrinantis galima veiklos vykdymą  
**Fig. 3.6.** Algorithm for checking an execution of activity during simulation

3.7 paveiksle pateiktas simuliacijos rezultatų duomenų bazės modelis. Simuliacijos esybėje saugomi simuliacijos identifikatoriai ir simuliacijos pradžia ir pabaiga. Stebėjimo esybėje pridedame galimus stebėjimo identifikatorius, pavyzdžiui, jei proceso metu pagamintos detalės, tai bus saugomas tam tikru simuliacijos momentu pagamintų detalių skaičius. Procesai esybėje saugomos paleistų procesų kiekis. Ištekliai esybėje saugomas išteklių pavadinimas, panaudotas kiekis, simuliacijos laiko pradžia ir pabaiga. Ši esybė susiejama su išteklių modeliu, todėl galima paskaičiuoti išteklių panaudojimo kainą ar kitus reikalingus parametrus.



3.7 pav. Simuliacijos vykdymo rezultatų modelis

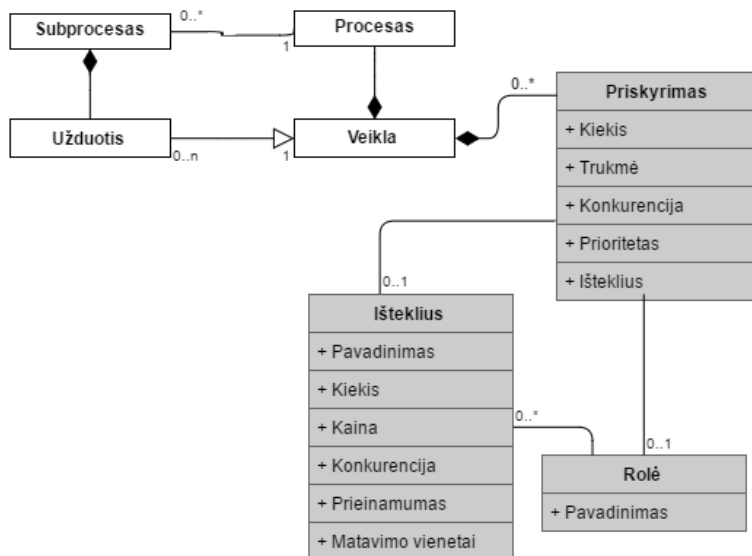
Fig. 3.7. Model for simulation execution results

### 3.6. Išteklių grafinis modeliavimo metodas

Atsižvelgiant į metodų ir įrankių įvertinimą pristatytą pirmame skyriuje, galima teigti, kad nėra tinkamų būdų modeliuoti išteklius ir tinkamo jų grafinio vaizdavimo. Pasiūlomas naujas vaizdavimo būdas, bandant paimti iš kiekvieno analizuoto metodo ar įrankio jų privalumus ir juos pritaikyti. Šis pasiūlytas metodas taikomas įmonėje ir sulaukė teigiamų atsiliepimų.

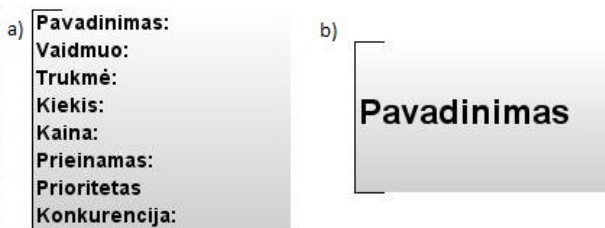
Buvo pasirinktas Stroppi *et al.* (2011) siūlomas grafinio vaizdavimo būdas, kuris praplečiamas papildant funkcionalumą, atributus, parametrus. Taip pat vietoj to, kad naudoti komentaro grafinį elementą tiesiogiai yra siūloma sukurti šio elemento dublikatą ir jį modifikuoti, pritaikant naują funkcionalumą.

Siūloma sukurti BPMN elemento „komentaras“ kopiją. Šis naujas elementas turi funkcionalumą, kuris yra leidžia modeliuoti išteklius. Elementas turi atributą, kuriame iš sąrašo galima pasirinkti vieną iš VP egzistuojančių išteklių. Išteklius įrankis turėtų vaizduoti dviem būsenomis: viena, kai vaizduojamas tik išteklius pavadinimas, o kita – išteklius su detalizavimu. Ištekliai modelyje yra susiejami su veiklomis, nes kiekviena veikla turi išteklių ir vidutinį darbo laiką. Viena veikla gali turėti keletą priskirtų išteklių. Jei veikla neturi priskirto išteklius, vadinasi, tokia veikla yra automatizuojama ir atliekant simuliaciją nebus įvertinamas jos darbo laikas. Atvaizdavimas išteklius tik su pavadinimu daugiausia naudojamas verslo atstovų, kuriems nereikia didelio detalumo. Išteklius su pilna informacija naudojamas simuliuojant VP.



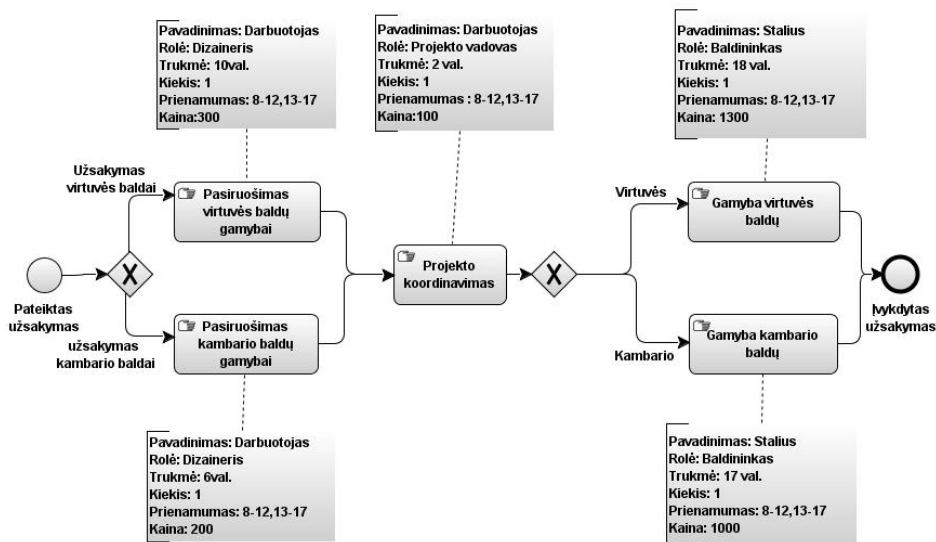
**3.8 pav.** Verslo procesų modeliavimo kalbos metamodelio praplėtimas  
**Fig. 3.8.** Extension of business process model and notation metamodel

Norint realizuoti pasiūlymą reikalingas BPMN modelio praplėtimas (angl. *extension*), kuris pavaizduotas 3.8 paveiksle. Pateikiama tik dalis metamodelio, kuri yra aktuali, o pilnai pažymėtas naujas siūlomas praplėtimas. BPMN veiklos esybė susiejama su priskyrimo esybe. Viena veiklą gali turėti keli priskirti išteklius, todėl realizuojamas ryšis 0..n. Šis siūlymas buvo pristatytas ir detaliau išnagrinėtas straipsniuose (Vasilecas, Laureckas, Rima 2014).



**3.9 pav.** Pasiūlytas praplėtimas išteklių modeliavimo : a) pilnas žymėjimas;  
 b) sutrumpintas žymėjimas

**Fig. 3.9.** The proposed extension to the resources modelling: a) full labelling; b) reduced labelling



3.10 pav. Pasiūlyto notacijos pralėtimo taikymo pavyzdys

Fig. 3.10. Application example of proposed notation

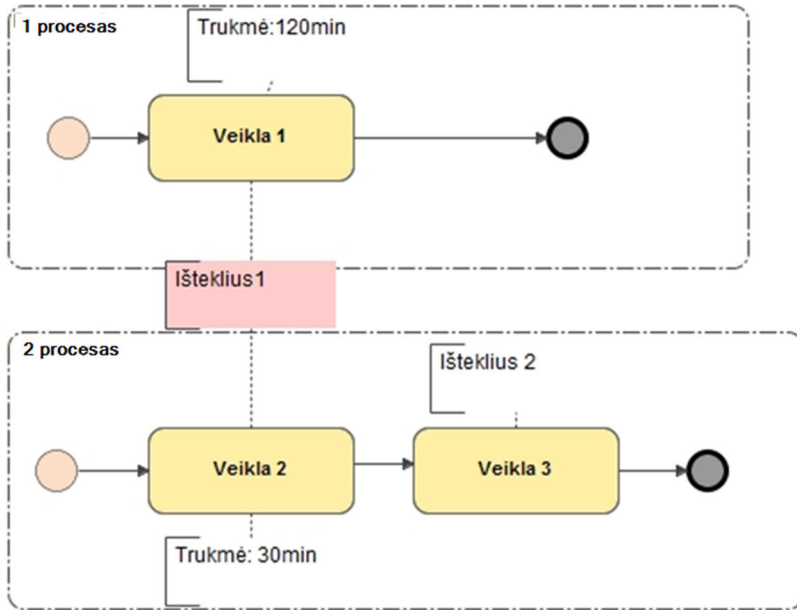
Pasiūlytas praplėtimas turi trūkumą, kai veiklų ir išteklių procese yra pakankamai daug, tuomet grafinis modelis tampa sunkiai suprantamas. Tačiau jei laikyti taisyklės, kad verslo proceso modelyje turėtų būti vaizduojamos 7 (plius/minus 2) veiklos, o jei veiklų daugiau jos turi būti sutraukiamos į subprocesus, tuomet tokiu principu sukurtas modelis nebus sudėtingas. Žemesnio lygio modeliuose šie subprocesai išskleidžiami. 3.9 ir 3.10 paveiksluose pateiktas išteklių aprašymo verslo procese pavyzdys.

### 3.7. Procesų konkurencija dėl išteklių ir veiklų planavimas

Darbe minėta, kad svarbu simuliuoti ne tik vieną VP su jo egzemplioriais, bet ir skirtingų verslo procesų, kuriuose dalyvauja bendrai naudojami ištekliai, sąveika ir veiklų konkurencija dėl jų.

Prieš atlikdami eksperimentą su realiu verslo procesu, panagrinėsime standartinį dviejų VP konkurencijos dėl išteklių pavyzdį. Išnagrinėjus šį tipinį proceso su ribotais ir bendrai naudojamais ištekliais pavyzdį bus aišku kaip gali pasikeisti proceso vyksmo laikas, kai ištekliai yra bendrai naudojami ir kai ne. Nagrinėjami

du verslo procesai (3.11 pav.), kurių veikloms atlikti reikalingas vienas ir tas pats išteklius, kuris įmonėje yra tik vienas.



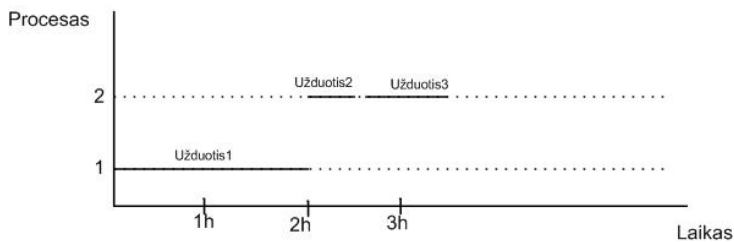
**3.11 pav.** Standartinis konkurencijos dėl išteklių pavyzdys

**Fig. 3.11.** Example of standard competition for resources

Nagrinėjami du procesai, kurie atitinkamai pavadinti „1 procesas“ ir kitas „2 procesas“. „1 procesas“ turi tik vieną apibrėžtą veiklą „Veikla 1“, kuri vidutiniškai trunka 2 valandas ir atitinkamai šio proceso trukmė bus 2 valandos. „2 procesas“ turi dvi veiklas, t. y. „Veikla 2“ ir „Veikla 3“, kurios atitinkamai trunka 0,5 val. ir 1 val. „Veikla 1“ ir „Veikla 2“ naudoja tą patį išteklių, kaip pavaizduota modelyje. Simuliacija vykdo tik po vieną abiejų proceso egzempliorių. Pirmas įvykio metu paleidžiamas vykdyti „1 procesas“ ir tik vėliau pradedamas vykdyti „2 procesas“. Standartinis simuliacijos vykdymas laike atrodys kaip žemiau esančiame grafike (3.12 pav.).

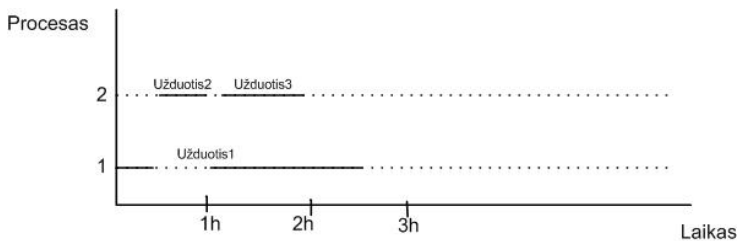
Iš grafiko (3.12 pav.) matome, kad bendras vykdymo laikas buvo 3,5 valandos. Panagrinėkime kitą atvejį, kai „Išteklis 1“ galėtų persijungti tarp veiklų, t. y. pusvalandį vykdęs užduotį tikrinti ar nėra kitų užduočių. Grafikas laike pavaizduotas 3.12 paveiksle.





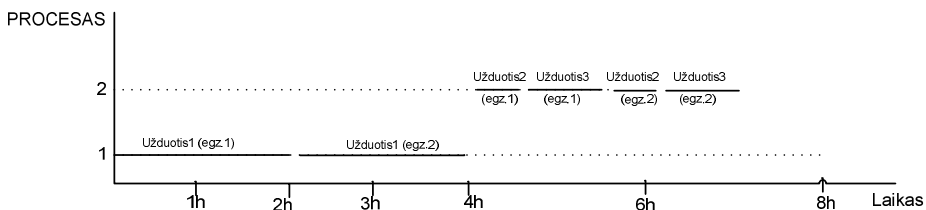
**3.12 pav.** Įprastas verslo procesų vyksmas laike  
**Fig. 3.12.** Common business process proceeding in time

Iš grafiko (3.13 pav.) matome, kad „2 procesas“ pasibaigia anksčiau ir duoda rezultatą. Atitinkamai ir „Išteklis 2“ yra anksčiau panaudojamas ir jam nereikia laukti kol baigsis „1 procesas“. Iš to seką ir efektyvesnis išteklių panaudojimas, t. y. „Išteklis 2“ atlaisvinamas anksčiau. Taip pat jei „2 procesas“ realiaame versle generuoja pajamas, tai tos pajamos bus sugeneruojamos anksčiau.



**3.13 pav.** Procesų vyksmas laike kai veiklos pertraukiamos  
**Fig. 3.13.** Processes proceeding in time when activities are interrupted

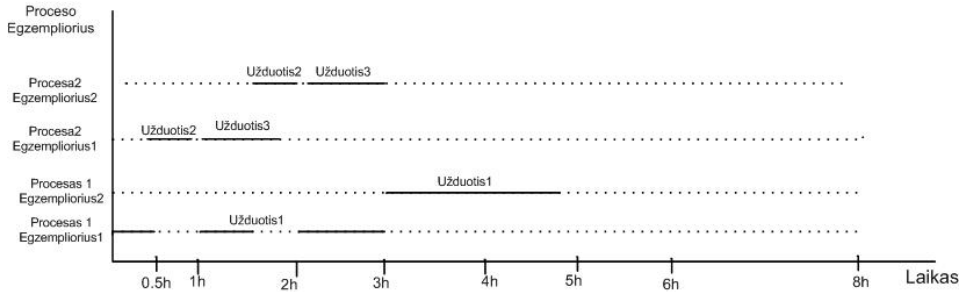
Toliau panagrinėkime atvejį, kai simuliacijos metu yra paleisti po dviejų procesų egzemplioriai (angl. *instances*).



**3.14 pav.** Proceso vyksmas laike kai paleisti du proceso egzemplioriai  
**Fig. 3.14.** Process proceeding in time when two instances of processes are running

Standartinės simuliacijos atžvilgiu bus įvykdomas abiejų „1 procesas“ egzempliorių „Užduotis 1“ (3.14 pav.). Ir tik įvykdžius „1 procesas“ egzempliorius bus atlaisvintas „Ištekliai 1“ ir vykdys „2 procesą“.

Simuliacija panaudojant veiklų konkurencija dėl išteklių ir veiklų pertraukimą pavaizduota 3.15 paveiksle.



**3.15 pav.** Vykdyamas kai paleisti du verslo proceso egzemplioriai ir veiklos pertraukiamos

**Fig. 3.15.** Proceeding in time when two instances of business process are running and activities are interrupted

„Ištekliai 1“ gali pertraukti užduoties vykdymą ir atlikti kitą laukiančią užduotį. Nustatyta, kad išteklius prie vienos užduoties išdirba 0,5h, tuomet tikrina ar yra kitų užduočių. Grafike (3.15 pav.) matome, kad tokioje situacijoje išteklius turėtų imtis „2 proceso“ pirmo egzemplioriaus užduoties 2 vykdymo ir atlikęs užduotį 2 grįžti prie „1 proceso“ pirmo egzemplioriaus pirmos užduoties. Tada 0,5h valandos vykdo minėtą užduotį ir vėl tikrina ar nėra kitų užduočių vykdymui. Todėl imasi antros užduoties („2 proceso“ antras egzempliorius) vykdymo. Ją įvykdęs pratęsia užduoties 1 vykdymą.

Kadangi „2 procesas“ nėra susijęs su „1 procesas“, tai jo užduotis gali būti įvykdomos nelaukiant „1 proceso“ egzempliorių vykdymo pabaigos. Todėl šiuo atveju bendras vykdymo laikas sutrumpėja (lyginant su standartinė simuliacija) ir geriau išnaudojami ištekliai.

### 3.8. Trečiojo skyriaus išvados

1. Skyriuje pasiūlytas verslo proceso su ribotais ir bendrai naudojamais ištekliais modeliavimo ir simuliacijos metodas. Metodas skirtas verslo procesams simuliuoti, kuriuose veiklos konkuruoja dėl išteklių. Veiklos vykdymo metu gali būti pertrauktos tam, kad būtų atliekamos svarbesnės veiklos.

2. Suformuluoti išteklių modeliavimo verslo procesų modeliuose ir simuliacijos įrankio reikalavimai tam, kad būtų galima įgyvendinti veiklų konkurenciją dėl išteklių VP simuliacijos metu.
3. Prie verslo procesų išteklių savybių pasiūlyta pridėti konkurencijos aspektą, tam, kad būtų įgalintas veiklų pertraukimas dėl bendrai naudojamų išteklių. Išteklius ar veikla gali turėti tokią savybę priklausomai nuo modeliuojamo verslo proceso, nes ne visi ištekliai gali būti bendrai naudojami.
4. Pasiūlytas naujas, verslo srities atstovams suprantamas išteklių specififikavimo BMPN verslo procesų modeliuose būdas palengvina išteklių aprašymą bei suderinimą VP analizės metu.



---

## Konkuruojančių verslo procesų modeliavimo ir simuliacijos metodo eksperimentinis tyrimas

Skyriuje pristatomi eksperimentiniai tyrimai su pasiūlytu konkuruojančių dėl išteklių verslo procesų modeliavimo ir simuliacijos metodu. Eksperimentais siekiama parodyti, kad riboti ištekliai, veiklų prioritetai, veiklų pertraukimas turi įtakos verslo procesų vykdymui, t. y. įtakoja jų vykdymo laiką, veiklų ir procesų egzempliorių vykdymo tvarką, o visa tai įtakoja ir galutinį verslo procesų vykdymo rezultatą.

Skyriaus tematika paskelbti straipsniai (Vasilecas, Šmaižys, Rima 2013a), (Vasilecas, Šmaižys, Rima 2013b), (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2012).

### 4.1. Verslo proceso simuliacijos kūrimas

Eksperimentinių tyrimų metu buvo siekiama nustatyti pasiūlyto metodo tinkamumą ir įgyvendinamumą.

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami įmonėje užsiimančia naftos produktų perkrova. Buvo pasirinkti keli tipiniai verslo procesai, apimantys aukščiau

dėstyta charakteristikas. Pirmasis buvo pasirinktas detalių gamybos verslo procesas, nes atspindi kelių skirtingų procesų konkurenciją dėl išteklių, kas leidžia patikrinti įtaką VP vykdymo trukmei, kai yra veiklų konkurencija dėl bendrai naudojamo išteklių. Antrasis buvo pasirinktas autocisternų pripylimo procesas, nes atspindi situaciją vieno verslo proceso skirtingų jo egzempliorių veiklų konkurenciją dėl išteklių, kas leidžia patikrinti metodo įgyvendinamumą. Taip pat buvo iškeltas uždavinys ištirti ar įmanoma pagerinti užpylimo aikštelės apkrovimą.

Bandymai buvo atliekami pagal šį planą:

- 1) probleminės situacijos aprašymas
  - i) tikslo ir uždavinių apibrėžimas;
- 2) verslo proceso (VP) modelio sukūrimas:
  - i) VP vykdymo scenarijaus specifikuojimas;
  - ii) VP modelio validavimas
  - iii) VP išteklių ir jų savybių specifikuojimas;
  - iv) VP modelio su ištekliais validavimas;
- 3) VP simuliacijos vykdymas:
  - i) VP simuliacijos parametrizavimas;
  - ii) VP simuliacijos atlikimas ir rezultatų gavimas;
- 4) rezultatų analizė ir palyginimas.

Metodo efektyvumo vertinimas buvo atliekamas atsižvelgiant į analizės ir palyginimo rezultatus. Metodo našumas buvo vertinamas atsižvelgiant į simuliacijos parametrus bei simuliacijai atlikti naudotus išteklius. Metodo tinkamumas ir priimtumas buvo vertinamas pasitelkiant dalykinės srities ekspertų ir analitikų nuomones.

Eksperimentams atlikti reikalingi duomenys buvo surinkti stebint ir modeliuojant vykstančius verslo procesus, apklausiant procesų dalyvius bei analizuojant informacinės sistemos duomenis.

Eksperimentams atlikti buvo naudojamos šios priemonės

- BPMN modeliams sudaryti – Yaoqiang BPMN Editor<sup>1</sup> ir Cameo Business Modeler, išplėstus darbe pasiūlytu išteklių specifikuojimo būdu.
- Simuliacijai atlikti – dinaminių verslo procesų simuliacijos priemonė DBSim, praplėsta galimybe atlikti lygiagrečių verslo procesų su veiklų pertraukimu simuliaciją. DBSim vystomas VGTU Informacinių sistemų laboratorijoje.

Eksperimento metu simuliacijos kūrimui dokumentai ir reikalinga informacija paimta atliekant tyrimą VP vykdančioje įmonėje. Įmonėje buvo atliekamas procesų stebėjimas, apklausiami procesų dalyviai, išgaunama informacija iš IS. Eksperimentu metu buvo sukurti VP modeliai BPMN pavidalu, naudojant Yaoqiang BPMN Editor ir Cameo Business Modeler įrankius. Naudojant BPMN

---

<sup>1</sup> <https://sourceforge.net/projects/bpmn/>

modelį, galima rezultatyviau ir greičiau sukurti simuliacijos modelį, nei remiantis tekstu aprašytais abstrakčiais reikalavimais. Simuliaciniam VP modeliui ir simuliacijai įgyvendinti pasirinktas DBSim įrankis, kuris yra vystomas VGTU Informacinių sistemų laboratorijoje.

## 4.2. Detalių gaminių paruošimo ir surinkimo simuliacija

Eksperimente nagrinėjame mechanikos skyriaus gaminamų detalių verslo procesus. Analizuojame ir simuliuosime du verslo procesus, kuriuose dalyvauja tie patys ištekliai, šiuo atveju procesams svarbu procesus vykdančys ištekliai, kuriais yra tarp procesų veiklų dalinamasi. Svarbu ištirti išteklių apkrovą ir rasti tinkamiausią scenarijų. Eksperimente naudosime skirtingas situacijas keisdami išteklių kiekį ir pridėdami konkurencijos savybę. Nagrinėjami dažniausiai reikalingų detalių tipų P1 ir P2 gamybos procesai.

Eksperimento tikslas yra ištirti išteklių apkrovą veikiančių skirtingose verslo procesuose. Suplanuoti išteklių veiklą taip, kad būtų pagaminama kaip įmanoma greičiau P1 tipo detalių, tačiau išvengiama išteklių prastovos.

**4.1 lentelė.** Verslo procesų aprašymas ir detalizavimas

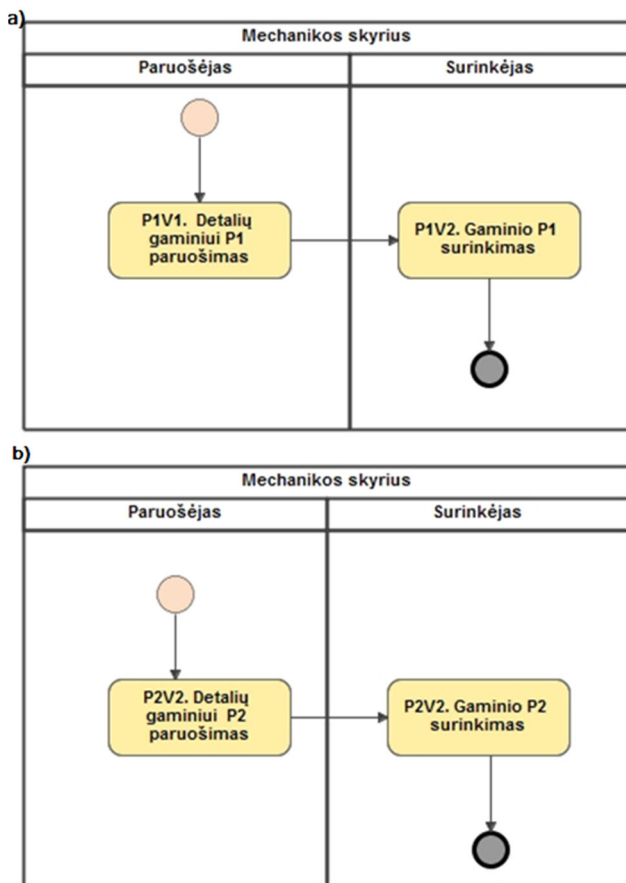
**Table 4.1.** Business process specification

Veiklos Nr.	Veiklos pavadinimas	Procesas	Aprašymas
P1V1	Detalių paruošimas gaminiui P1	P1 gamyba	Veiklos metu darbuotojas paruošia reikalingas detales gaminio P1 gamybai
P1V2	Gaminio P1 surinkimas	P1 gamyba	Veiklos metu darbuotojas iš paruoštų detalių surenka naudodamas reikalingus įrankius gaminį P1
P2V1	Detalių paruošimas gaminiui P2	P2 gamyba	Veiklos metu darbuotojas paruošia reikalingas detales gaminio P2 gamybai
P2V2	Gaminio P2 surinkimas	P2 gamyba	Veiklos metu darbuotojas iš paruoštų detalių surenka naudodamas reikalingus įrankius

Kuriant VP simuliaciją iškelti uždaviniai:

- atlikti atskirai P1 ir P2 detalių gamybos procesų simuliaciją, kai procesai neįtakoja vienas kito;
- atlikti kartu P1 ir P2 detalių gamybos procesų simuliaciją, kai veiklos nepertraukiamos, bei, kai veiklos pertraukiamos.

Verslo proceso modelio sukūrimo ir vykdymo scenarijaus specifikuojant metu apklausiame srities ekspertus. Verslo procesuose nustatome tik pagrindines veiklas, t. y. nenukrypstame į detales. Pagrindinės verslo procesų veiklos pateiktos 4.1 lentelėje, o gauti VP modeliai 4.1 paveiksle. Procesai skiriasi, nes yra naudojami skirtingi detalių ruošiniai.



**4.1 pav.** Verslo procesai: a) gaminių P1 gamyba; b) gaminių P2 gamyba

**Fig. 4.1** Business processes: a) P1 parts manufacturing; b) P2 parts manufacturing



Validuojant modelį neišvengiama ilga diskusija su srities ekspertais, nes modelio detalumas nedidelis, tačiau buvo nuspręsta modelyje nežymėti darbuotojo kiekvienos atliekamos užduoties, pavyzdžiui, varžto įsukimo. Detalių gamybos procesai yra paprasti, procesuose nemodeliuojamos nestandartinės situacijos, tokios kaip gautų ruošinių brokas, t. y. kai gauti ruošiniai detalėms gaminti yra nekokybiški.

Kitas žingsnis yra VP išteklių ir jų savybių specifikuojimas. Specifikuojame pagrindinius išteklius reikalingus atlikti šiems verslo procesams. Panaudojamo tipo ištekliai procesuose būtų: paruošėjas, surinkėjas, staklės, įrankiai, o sunaudojami ruošinys P1, ruošinys P2, elektra, pusgaminis P1, pusgaminis P2. Pusgaminiai yra išeiga iš paruošėjo atliekamos veiklos. Verslo procesų ištekliai išvardinti ir aprašyti 4.2 lentelėje.

#### 4.2 lentelė. P1 ir P2 gaminių gamybos procesų ištekliai

**Table 4.2.** Resources of P1 and P2 parts manufacturing process

Pavadinimas	Aprašymas
Paruošėjas	Darbuotojas atlieka skirtingų ruošinių paruošimą ir perdavimą surinkimui
Surinkėjas	Surenka gautus pusgaminius
Ruošinys P1	Detalių ruošinys P1 skirtas pagaminti detalei P1
Ruošinys P2	Detalių ruošinys P2 skirtas pagaminti detalei P2
Pusgaminis P1	Iš detalių rinkinio paruoštas pusgaminis skirtas pagaminti detalei P1. Atsiranda tik po paruošimo veiklos.
Pusgaminis P2	Iš detalių rinkinio paruoštas pusgaminis skirtas pagaminti detalei P2. Atsiranda tik po paruošimo veiklos.

Nuspręsta nevertinti tų išteklių, kurie nepagrindiniai, t. y. staklių ir įrankių, taip pat energijos išteklių. 4.3 lentelė pateikia pagrindinių išteklių savybes simuliuojamiems procesams šiame eksperimente. Vykdydami simuliaciją kainos nevertiname, sužymime išteklius kurie gali pertraukti veiklas (konkurencija).

Simuliaciniam modeliui sukurti reikalinga vidutinė veiklų trukmė. Veiklų vidutinę trukmę pateikė srities ekspertai. 4.4 lentelėje pateikta vidutinė trukmė ir reikalingus pagrindinius išteklius. Iš pateiktų trukmių matome, kad detalės P2 gamybos laikas yra 3 valandos, o detalės P1 gamybos laikas yra 2 valandos 30 minučių.

**4.3 lentelė.** Detalių gamybos procesų išteklių savybės**Table 4.3.** Characteristics of resources for parts manufacturing process

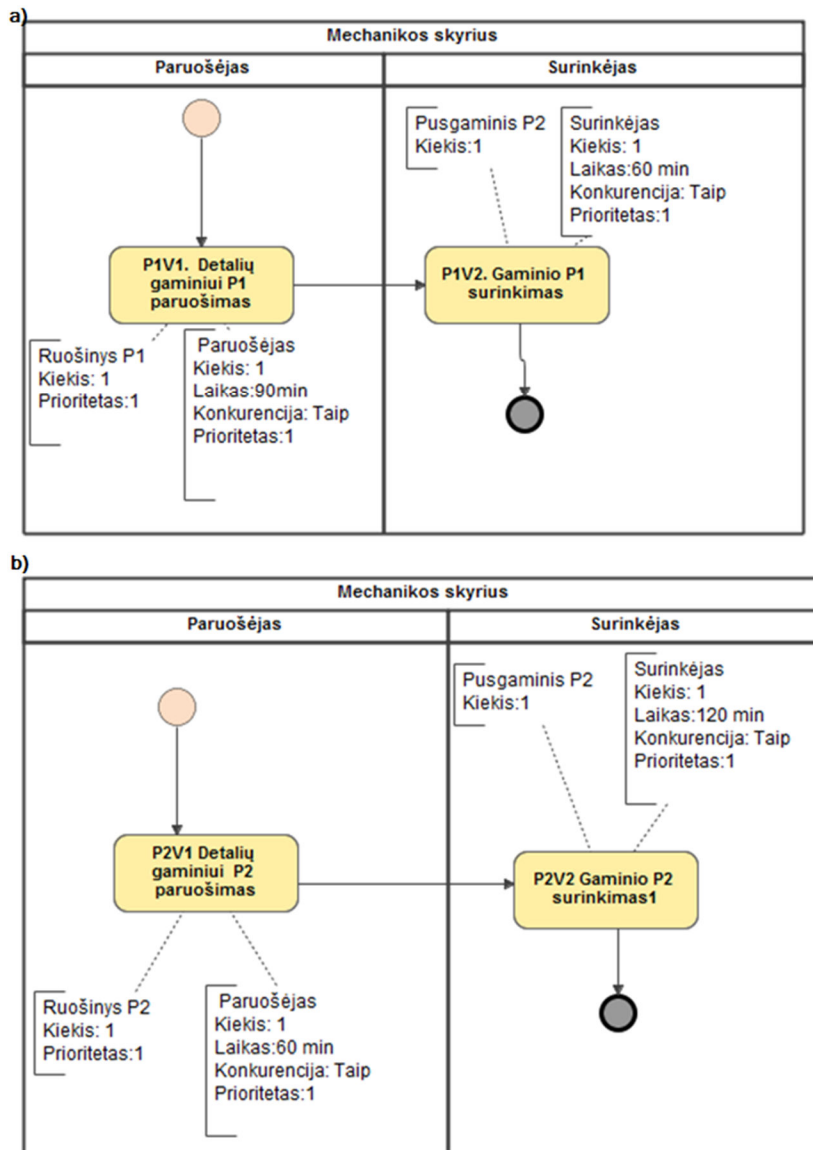
Pavadinimas	Savybės					
	Tipas	Mat o vnt.	Prieinamumas	Kie kis	Konku- rencija	Kaina
Paruošėjas	Panaudojamas	Vnt.	7:00 – 19:00	1	Taip	-
Surinkėjas	Panaudojamas	Vnt.	7:00 – 19:00	1	Taip	-
Ruošiny P1	Sunaudojamas	Vnt.	00:00 – 24:00	5	Ne	-
Ruošiny P2	Sunaudojamas	Vnt.	00:00 – 24:00	5	Ne	-
Pusgaminis P1	Sunaudojamas	Vnt.	-	0	Ne	-
Pusgaminis P2	Sunaudojamas	Vnt.	-	0	Ne	-

**4.4 lentelė.** Veiklų trukmės ir reikalingi ištekliai**Table 4.4.** The duration of activities and needed resources

Veiklos Nr.	Trukmė, min.	Reikalingi ištekliai
P1V1	90	Ruošiny P1, Paruošėjas
P1V2	60	Pusgaminis P1, Surinkėjas
P2V1	60	Ruošiny P2, Paruošėjas
P2V2	120	Pusgaminis P1, Surinkėjas

4.2 paveiksle pateiktas VP modelis su pažymėtais ištekliais ir pažymėtos veiklos bei ištekliai, kurie turi konkurencijos savybę.

Vykdam simuliaciją, pirmiausia reikėtų išnagrinėti išteklių apkrovą procesuose, kai jie vyksta nepriklausomai, kad galėtume palyginti skirtingus rezultatus. Todėl apibrėžiami simuliacijos vykdymo scenarijai, kurie pateikiami 4.5 lentelėje.



4.2 pav. Detalių gamybos procesai su pažymėtais ištekliais: a) P1 gaminio;  
b) P2 gaminio

Fig. 4.2. Parts manufacturing process with resources: a) part P1; b) part P2

**4.5 lentelė.** Simuliacijos scenarijai detalių gamybos procesui**Table 4.5.** Simulation scenarios of parts manufacturing process

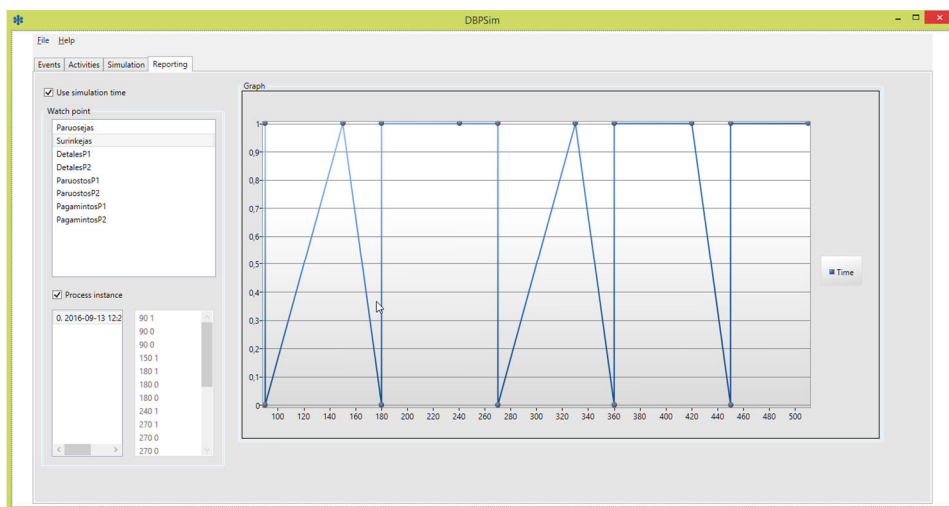
Nr.	Aprašymas	P1 ruošinių kiekis	P2 ruošinių kiekis	Konkurencija ir prioritetai
1.	Simuliacija tik P1 gaminio gamybos verslo proceso	5	0	Prioritetai vienodi, konkurencija dėl išteklių neleidžiama, veiklos nepertraukiamos
2.	Simuliacija tik P2 gaminio gamybos verslo proceso	0	5	Prioritetai vienodi, konkurencija dėl išteklių neleidžiama, veiklos nepertraukiamos
3.	Simuliacija P1 ir P2 gaminių gamybos verslo procesų kartu	5	5	Prioritetai vienodi, konkurencija dėl išteklių neleidžiama
4.	Simuliacija P1 ir P2 gaminių gamybos verslo procesų kartu	5	5	Veiklų P1V1 ir P1V2 prioritetai aukščiausi, konkurencija dėl išteklių leidžiama

Simuliacijoje Nr 1. atliekama tik P1 gaminio gamybos verslo proceso. Pradinė situacija: P1 ruošinių kiekis 5, veiklos nepertraukiamos. 4.6 lentelėje pateikti veiklų nustatymai VP simuliacijai.

**4.6 lentelė.** Simuliacijos nustatymai tik P1 gaminio gamybos procesui**Table 4.6.** Simulation parameters only for P1 product manufacturing process

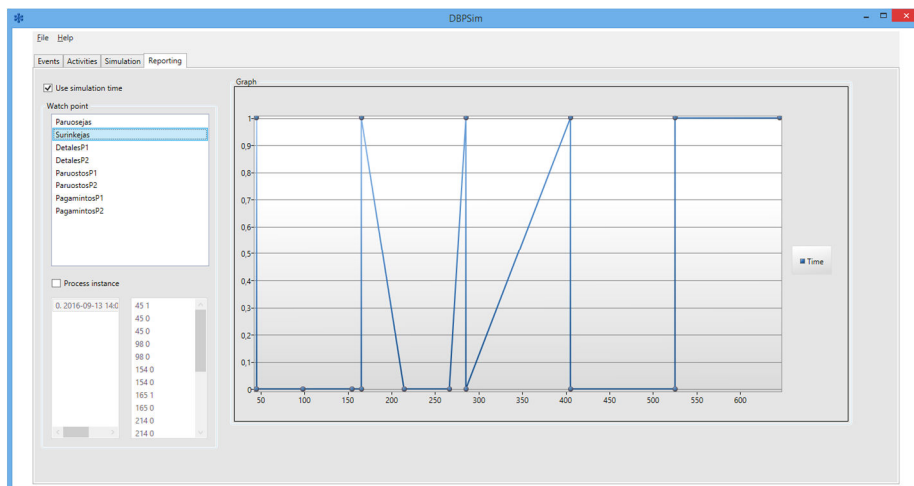
Veikla	Prioritetas	Konkurencija
P1V1	1	Ne
P1V2	1	Ne

Simuliacijos Nr.1 metu gautas surinkėjo apkrovos grafikas (4.3 pav.). Šio grafiko Y ašyje reikšmė 1 žymi kada išteklius surinkėjas yra laisvas, o 0 kada išteklius yra užimtas, t. y. naudojamas veikloje. Kaip matome išteklių panaudojimas nėra efektyvus, t. y. surinkėjas turi prastovų.



**4.3 pav.** Surinkėjo apkrovos grafikas  
**Fig. 4.3.** Assembler load schedule

Simuliacijoje Nr. 2 atliekama tik P2 gaminio gamybos verslo proceso vykdymas. Pradinė situacija: P2 ruošinių kiekis yra 5 vienetai, proceso veiklos yra nepertraukiamos, veiklos turi vienodą prioritetą. 4.7 lentelėje pateikti veiklų nustatymai tik P2 gaminio gamybos verslo proceso simuliacijai.



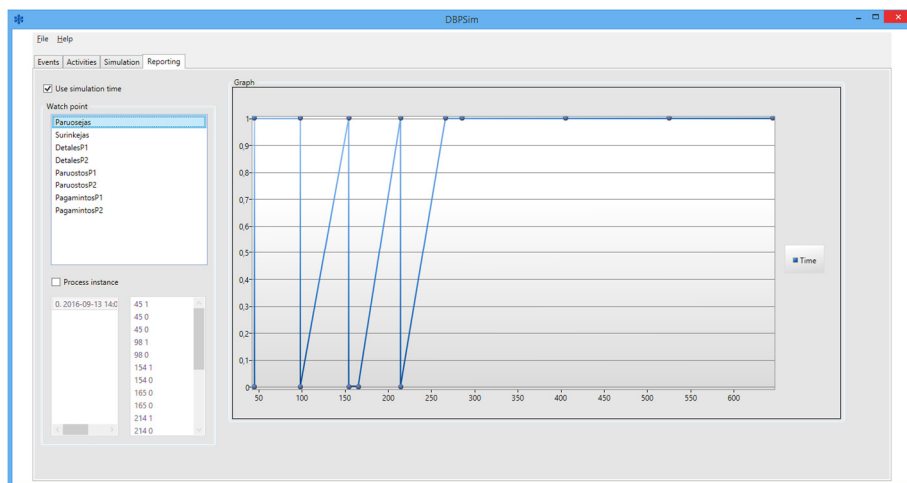
**4.4 pav.** Surinkėjo apkrovos grafikas simuliuojant P2 gamybos procesą  
**Fig. 4.4.** Assembler load schedule simulating process of manufacturing P2

**4.7 lentelė.** Simuliacijos nustatymai tik P2 gaminio gamybos procesui

**Table 4.7.** Simulation parameters only for P2 product manufacturing process

Veikla	Prioritetas	Konkurencija
P2V1	1	Ne
P2V2	1	Ne

Simuliacijos Nr. 2 metu gautas surinkėjo apkrovos grafikas (4.4 pav.) P2 gamybos proceso metu. Iš rezultatų (4.4 pav.) matome, kad išteklius surinkėjas nėra pakankamai apkraunamas simuliuojant procesus atskirai. Surinkėjas būna laisvas tik persijungimo metu kai reikia surinkti kitą detalių rinkinį. Šiuo atveju paruošėjas visada užimtas, o surinkėjas turi laisvų laiko tarpų.



**4.5 pav.** Paruošėjo apkrovos grafikas simuliuojant P2 gamybos procesas

**Fig. 4.5.** Converter load schedule simulating process of manufacturing P2

Simuliacijos Nr. 2 metu gautas paruošėjo surinkėjo apkrovos grafikas (4.5 pav.) Iš šio grafiko (4.5 pav.) matome, kad paruošėjas tapo laisvas (Y ašyje 1 žymi, kad išteklius laisvas) tik pabaigęs paruošti visus P1 gaminius. Ši verslo proceso simuliacija parodė, kad ištekliai naudojami neefektyviai.

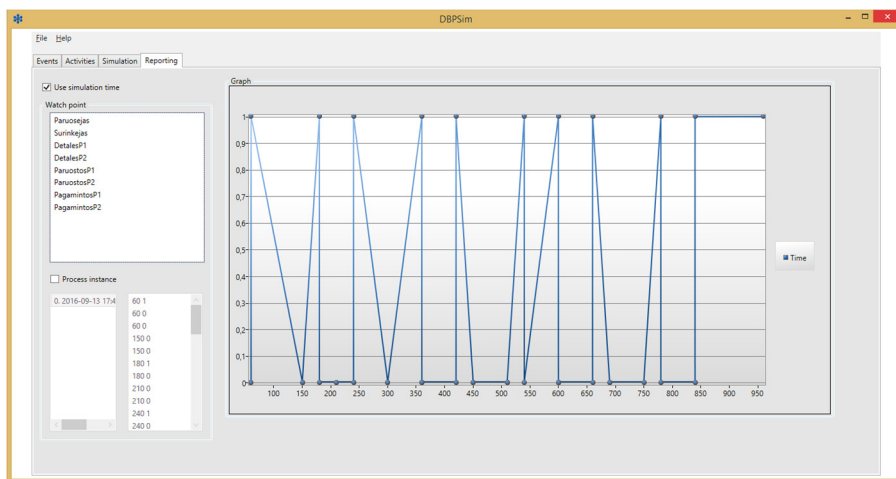
Toliau vykdysime simuliaciją Nr. 3, t. y. P1 ir P2 gaminių gamybos verslo procesai bus simuliuojami kartu. Pradinė situacija: P1 ruošinių kiekis 5 vienetai, P2 ruošinių kiekis 5 vienetai. 4.8 lentelėje pateikti veiklų nustatymai P1 ir P2 detalių gamybos VP simuliacijai be konkurencijos. Veiklos šios simuliacijos metu nekonkuruoja dėl išteklių.

**4.8 lentelė.** Simuliacijos nustatymai P1 ir P2 gaminių gamybos verslo procesų kartu be konkurencijos

**Table 4.8.** Simulation parameters for P1 and P2 product manufacturing processes P2 without concurrency

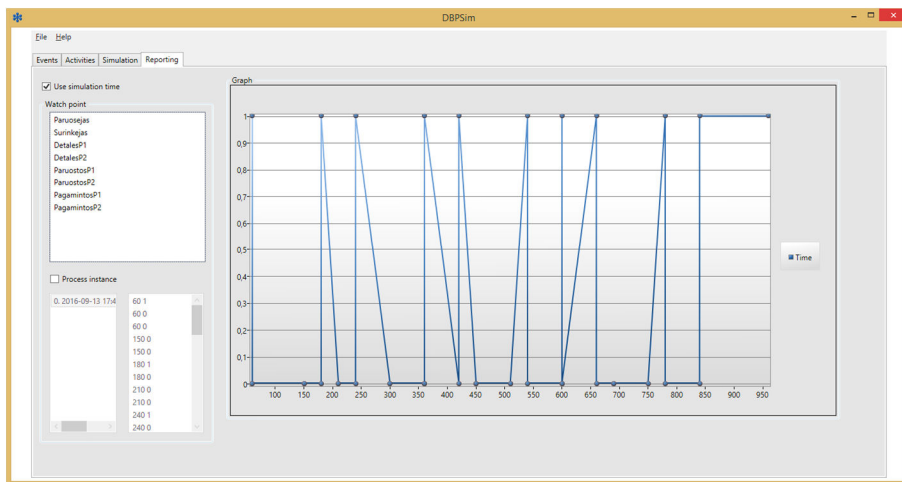
Veikla	Prioritetas	Konkurencija
P1V1	1	Ne
P1V2	1	Ne
P2V1	1	Ne
P2V2	1	Ne

Simuliacija Nr. 3 pateikia tris pagrindinius grafikus (4.6 pav., 4.7 pav., 4.8 pav.), kurie paimami iš naudojamo simuliacijos įrankio. Iš paruošėjo apkrovos grafiko (4.7 pav.) matome, kad visą laiką (simuliacijos trukmę) kol buvo pagamintos 5 detalės (4.8 pav.) jis buvo užimtas. Paruošėjas laisvas būdavo tik persijungimo metu, t. y. kai tik persijungdavo tarp gaminio paruošimo. Surinkėjas buvo laisvas daugiau laiko (4.6 pav.), todėl galime teigti, kad ištekliai naudojami neefektyviai.



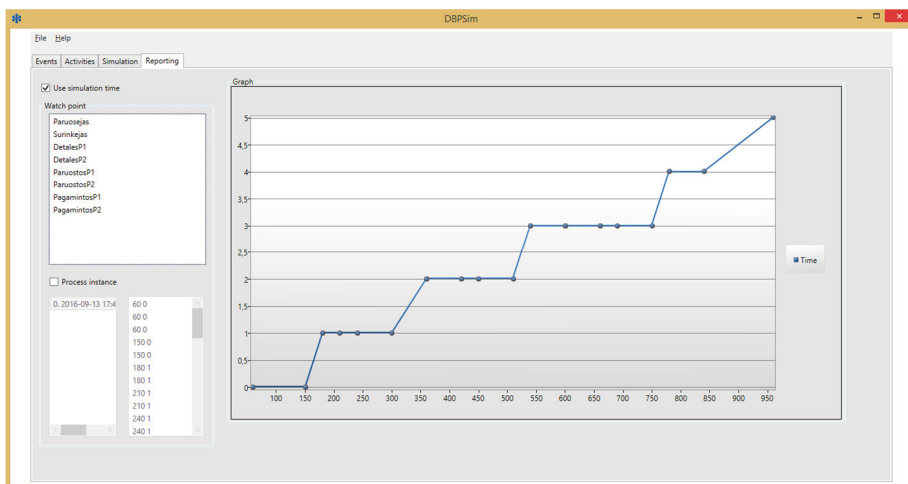
**4.6 pav.** Surinkėjo apkrovos simuliacijos grafikas P1 ir P2 detalių gamybos procesas be konkurencijos

**Fig. 4.6.** Assembler load schedule simulating process of manufacturing P1 and P2 without concurrency



**4.7 pav.** Paruošėjo apkrovos simuliacijos grafikas P1 ir P2 detalių gamybos VP be konkurencijos

**Fig. 4.7.** Converter load schedule during P1 and P2 parts manufacturing BP without concurrency



**4.8 pav.** Pagamintų detalių P2 kiekis simuliacijos laikui (P1 ir P2 detalių gamybos VP be konkurencijos)

**Fig. 4.8.** Quantity of P2 finished parts for the simulation time (P1 and P2 manufacturing without concurrency)



Simuliacijos tikslas buvo suplanuoti kaip galima didesnę apkrovą ištekliams taip, kad P1 gaminiams būtų suteiktas prioritetas, t. y. jie pagaminami kaip įmanoma greičiau. Atskirų VP simuliacija parodė, kad vienu atveju yra nepakankamai apkraunamas surinkėjas, kitu atveju nepakankamai apkraunamas paruošėjas.

Simuliacija Nr. 4 bus vykdoma kartu P1 ir P2 gaminių gamybos verslo procesams, bei su veiklų konkurencija dėl išteklių. Vykdydysime simuliaciją su abiem verslo procesais. Surinkimo P1 veiklai uždedame didesnę prioritetą, o surinkimas P2 veiklai padarome pertraukiamą, tam, kad, atsiradus ruošiniui P1, iškart galėtų imtis gaminio P1 paruošimo. Šios simuliacijos nustatymai pateikti 4.9 lentelėje.

**4.9 lentelė.** Simuliacijos nustatymai P1 ir P2 gaminių gamybos verslo procesų  
**Table 4.9.** Simulation parameters of P1 and P2 products manufacturing business processes

Veikla	Prioritetas	Konkurencija
P1V1	2	Ne
P1V2	2	Ne
P2V1	1	Taip
P2V2	1	Taip

4.10 lentelėje pateikiamas simuliacijos rezultatų žurnalas (angl. *log*). Šioje lentelėje skaičius žymi prieinamų išteklių kiekį. Pavyzdžiui, 0 reiškia, kad tokių išteklių nėra, o reikšmė 1, nurodo, kad simuliacijos laiko momentu toks išteklius prieinamas. Stulpelyje „Vykdomos veiklos/ Būsenos“ surašyta, kas simuliacijos metu vyko.

**4.10 lentelė.** Proceso simuliacijos stebėjimo taškų įrašai, kai prioritetas yra pagaminti P1 ir surinkimas P2 veikla pertraukiama

**Table 4.10.** Process simulation watch points log when priority is set for P1 manufacturing and activity of P2 assembly is interrupted

Simuliacijos laikas	Paruošėjas	Surinkėjas	Pusgaminis P1	Pusgaminis P2	Nepabaigti rinkti P2	Pagaminta P1	Pagaminta P2	Vykdomos veiklos, Būsenos
1	2	3	4	4	6	7	8	9
0	1	1	0	0	0	0	0	Pradinė

4.10 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0	1	0	0	0	0	0	Paruošimas P1
60	0	1	0	0	0	0	0	Paruošimas P1
90	1	1	1	0	0	0	0	Paruošimas P1 baigtas
120	0	0	0	0	0	0	0	Paruošimas P2, Surinkimas P1
150	1	1	0	1	0	1	0	Paruošimas P2 baigtas, Surinkimas P1 baigtas
180	0	0	0	0	0	1	0	Paruošimas P1, Surinkimas P2
210	0	0	0	0	0	1	0	Paruošimas P1, Surinkimas P2
240	1	1	1	0	1	1	0	Paruošimas P1 baigtas, pertraukiamas surinkimas P2
270	0	0	0	0	1	1	0	Paruošimas P1, Surinkimas P1
300	0	0	0	0	1	2	0	Paruošimas P1, Surinkimas P1 baigtas
330	1	0	1	0	0	2	0	Paruošimas P1 baigtas, Pertraukiamas Surinkimas P2
360	0	0	0	0	1	2	0	Paruošimas P1, Surinkimas P1
390	0	1	0	0	1	3	0	Paruošimas P1, Surinkimas P1 baigtas
420	1	1	1	0	1	3	1	Paruošimas P1 baigtas, Surinkimas P2 baigtas
450	0	0	0	0	0	3	1	Paruošimas P2, Surinkimas P1
480	1	0	0	1	0	3	1	Paruošimas P2 baigtas, Surinkimas P1
510	0	1	0	1	0	4	1	Paruošimas P1, Surinkimas P1 baigtas
540	0	0	0	0	0	4	1	Paruošimas P1, Surinkimas P2
570	1	1	1	0	1	4	1	Paruošimas P1 baigtas, pertraukiamas Surinkimas P2
600	0	0	0	0	1	4	1	Paruošimas P2, Surinkimas P1
630	1	1	0	1	1	5	1	Paruošimas P2 baigtas, Surinkimas P1 baigtas

Simuliacijos su konkurencija dėl išteklių rezultatai parodė, kad atliekant veiklą pertraukimą galima efektyviai išnaudoti išteklius ir priartėti prie iškelto simuliacijos tikslo, t. y. pagaminti kuo greičiau P1 detales ir efektyviai išnaudoti

ištekliaus. Simuliacija parodė, kad jei gaminama tik P1 tipo detalė ir po to, gaminama P2 tipo detalė, tuomet išteklių surinkėjo panaudojimas yra neefektyvus. Gaminant P1 tipo detalę surinkėjas buvo užimtas 300 minučių, o 210 minučių laukė veiklos, t. y. 41% darbo laiko buvo neapkrautas.

Simuliacija su konkurencija dėl išteklių ir veiklų pertraukimų leidžia suplanuoti gamybos procesą, kad būtų efektyviau išnaudojami ištekliai. Šiuo atveju matome iš 4.10 lentelės, kad surinkėjas buvo nepakrautas tik pirmas 90 minučių, tai lygu 14 % procesų simuliacijos laiko.

Eksperimentas parodė, kad svarbu simuliuoti kaip įmanoma daugiau VP, kuriose dalyvauja ar yra naudojamas tas pats išteklius. Veiklų pertraukimas yra svarbus kai atsiranda aukštesnio prioriteto veiklų ir veiklų pertraukimas įtakoja verslo proceso vykdymą.

### 4.3 Autocisternų pripylimo proceso simuliacija

Šiame skyriuje aprašomas VP simuliacijos eksperimentas realaus verslo proceso vykstančio naftos produktų krovo įmonėje. Pristatomi ir aprašomi visi etapai pagal darbe pasiūlytą metodą.

Nagrinėjamas autocisternų pripylimas benzinu ir dyzelinu, verslo procesas nuo autocisternos atvykimo iki dokumentų pasirašymo ir išleidimo. Autocisternos atvyksta prie įmonės vartų ir laukia kol bus patikrintos ir įleistos įvažiuoti į įmonės teritoriją piltis degalų, kuriuos vėliau išvežioja į degalines. Įsipylę degalus į autocisternas, kurių vidutinė talpa 39000 litrų, turi būti paruošti ir atspausdinti dokumentai, kurie išduodami apsaugos poste. Išvažiuojanti autocisterna ir vairuotojas yra papildomai patikrinami. Siekiama sumodeliuoti ir susimuliuoti procesą, kad būtų galima ištirti skirtingus verslo proceso scenarijus.

Eksperimento simuliacijos tikslas yra pagerinti autocisternų aptarnavimo trukmę ir maksimaliai apkrauti verslo proceso „butelio kakliuką“, nedidinant išteklių kiekio. Iškeltas uždavinys:

- Nustatyti ar įmanomas veiklų pertraukimas ir ar tai duotų geresnius rezultatus, t. y. leistų užpildyti daugiau autocisternų nedidinant išteklių

Eksperimente aprašomo verslo proceso modelis pateiktas 4.9 paveiksle. Klientai į įmonės internetinį užsakymo puslapį įveda pylimo užsakymus. Atvykus autocisternai įvestas užsakymas yra patikrinamas ir autorizuojamas (4.9 paveiksle veikla P4.4.1 Užsakymo autorizavimas), taip pat šios veiklos metu IS sugeneruojamas leidimas, kuris skirtas patekti į įmonės teritoriją. Sugeneruotas leidimas arba krovo nurodymas, kuriame yra informacija vairuotojui apie reikiamą užsipilti kiekį yra atspausdinamas su spausdintuvu, kuris randasi apsaugos poste (4.9 paveiksle veikla P4.4.2 Krovo nurodymo spausdinimas apsaugai). Turint

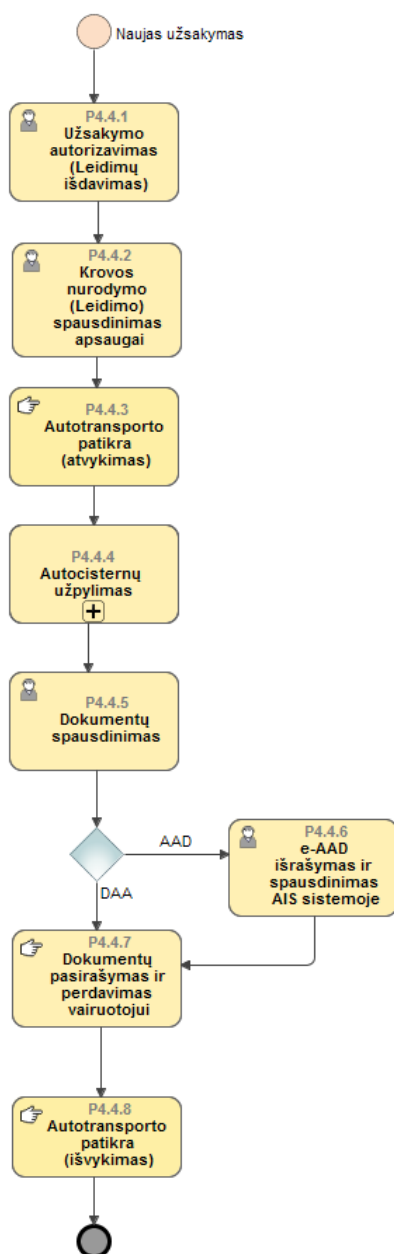
krovos nurodymą ir atvykusią autocisterną vykdoma autocisternos apžiūra (4.9 paveiksle veikla P4.4.3 Autocisternos apžiūra). Šios veiklos metu yra tikrinama ar atvyko leidime nurodyta autocisterna ir vairuotojas, apžiūrima autocisterna, gali būti patikrinamas vairuotojo blaivumas, vairuotojas pasirašo į knygą dėl saugos taisyklių laikymosi terminale ir pan.

#### 4.11 lentelė. Autocisternų pylimo proceso veiklų specifikuavimas

**Table 4.11.** Specification of activities for tank truck filling process

Veiklos Nr.	Veiklos pavadinimas	Aprašymas
P4.4.1	Užsakymo autorizavimas	Vyksta pateikto užsakymo patikrinimas – ar suvesta visa informacija, ar užteks degalų įmonėje.
P4.4.2	Krovos nurodymo spausdinimas apsaugai	Spausdinamas krovos nurodymas į apsaugos postą, tai pat išduodamas leidimas įvažiuoti į įmonės teritoriją
P4.4.3	Autocisternos apžiūra	Vykdoma autocisternos apžiūra, tikrinami numeriai
P4.4.4	Autocisternų užpylimas	Vykdomas žarnų pajungimas prie autocisternos ir vykdomas užsakymo kiekio užpylimas
P4.4.5	Dokumentų spausdinimas	Patikrinami duomenys gauti iš sistemų ir atspausdinami reikalingi dokumentai
P4.4.6	e-AAD išrašymas ir spausdinimas AIS sistemoje	Jei reikia išduoti AAD dokumentą, tuomet informacija suvedama į valstybinės mokesčių informacinę sistemą ir iš ten atspausdinamas AAD dokumentas
P.4.4.7	Dokumentų pasirašymas ir perdavimas vairuotojui	Pasirašomi atspausdinti dokumentai ir perduodami vairuotojui
P4.4.8	Autotransporto patikra (išvykimas)	Patikrinama išvykstanti autocisterna, uždedamos plombos.

Po apžiūros autocisterna vyksta į užpylimo aikštelę, kuri nuo apsaugos posto yra nutolusi apie 800 metrų. Atvykus į užpylimo aikštelę vairuotojas prie autocisternos pasijungia reikiamas žarnas, prideda kortelę prie skaitytuvo ir pylimo kompiuteryje pasirenka reikiamus jam skirtus kiekius, o pasibaigus pylimui atsijungia žarnas (4.9 paveiksle veikla P4.4.4 Autocisternų užpylimas). Tai pat autocisternų užpylimo metu operatorius kamerų ir automatikos valdymo sistemos pagalba prižiūri pylimus ir aikštelės būklę, t. y. stebi, kad neįvyktų avarijų (produkto nutekėjimo), įjungia papildomus siurblius ar juos išjungia.



4.9 pav. Autocisternų užpylimo proceso modelis  
Fig. 4.9. Model of tank truck filling process

Pasibaigus pylimui yra vykdoma kiekio patikra (patikrinami pylimo kompiuterio perduoti faktiniai duomenys), patvirtinimas pylimo autocisternų pylimų IS ir dokumentų spausdinimas (4.9 paveiksle veikla P4.4.5 Dokumentų spausdinimas). Dokumentai spausdinami tiesiai į apsaugos postą iš kurio vairuotojas juos turės pasiimti. Jei reikia išrašyti akcizų apskaičiavimo dokumentą (AAD) yra jungiamasi prie Valstybinės mokesčių sistemos ir išrašomas dokumentas. Apsaugos poste yra surenkami ir patikrinami atspausdinti dokumentai, papildomai išrūšiuojami ir pasirašomi apsaugos darbuotojo ir tada perduodami atvykusiam vairuotojui (4.9 paveiksle veikla P.4.4.7 Dokumentų pasirašymas ir perdavimas vairuotojui). Po dokumentų atidavimo vairuotojui yra vykdoma išvykstančios autocisternos patikra, plombavimas, jei reikia peržiūrimi vaizdo ir foto įrašai, pavyzdžiui, kai autocisterna baigusi pylimą užvažiuoja ant svarstyklių. (4.9 paveiksle veikla P4.4.8 Autotransporto patikra (išvykimas)). Specifikuotos veiklos pateiktos 4.11 lentelėje, o sukurtas VP modelis pavaizduotas 4.9 paveiksle.

Validuojant modelį patikrinamos ar yra visos veiklos, ar modeliuojant nebuvo labai nuklystama į detales. Nuspręsta, kad modelis yra pakankamo detalumo ir atspindi procesą.

Sukurtas VP modelis vyksmo atveju yra nesudėtingas, tėra tik vienas išsišakojimas, todėl patikrinamos, ar nustatytos visos reikalingos veiklos. Nuspręsta nemodeliuoti ir nesimuliuoti išimčių, kurios gali būti šio proceso vykdymo metu. Išimtys – tai galimi įrangos gedimai, avarijos ir pan. Šios išimtys yra nedažnos ir dažniausia nežinoma kokie ištekliai bus reikalingi ir kiek gali užtrukti, pavyzdžiui, gedimo pašalinimas. Be to, iškeltas VP modeliavimo ir simuliacijos tikslas nesusijęs su galimomis išimtimis.

#### 4.12 lentelė. Autocisternų pripylimo proceso ištekliai

**Table 4.12.** Resources of tank truck filling process

Išteklių pavadinimas	Išteklių aprašymas
1	2
Operatorius	Atsakingas už užsakymo autorizavimą, prižiūri pylimo technologinį procesą, atspausdina reikalingus dokumentus krovininui.
Apsaugos darbuotojas	Atlieka autocisternų įleidimo ir išleidimo procedūras, pasirašo dokumentus, patikrina autotransporto priemonę
Pylimo aikštelė	Technologinis įrenginys, kuris leidžia pripildyti autocisternas užsakytu kuro kiekiu. Iš viso yra 4 užpylimo vietos. Siurbliai skaitomi kaip vienas išteklis kartu su pylimo aikšte.
Vairuotojas	Išorinis išteklis, atsakingas už žarnų pajungimą prie autocisternos reikiamos sekcijos, už tinkamą ir saugų kuro užsipylimą

4.12 lentelės pabaiga

1	2
Autocisterna	Naudojama pripilti kurui, kuris vėliau išvežiojamas po degalines. Gali būti tik su vairuotoju.
Spausdintuvas	Naudojami dokumentų spausdinimui – leidimams, krovinio vartaraščiams.
Užsakymas	Kliento pateiktas nurodymas dėl kuro pripylimo

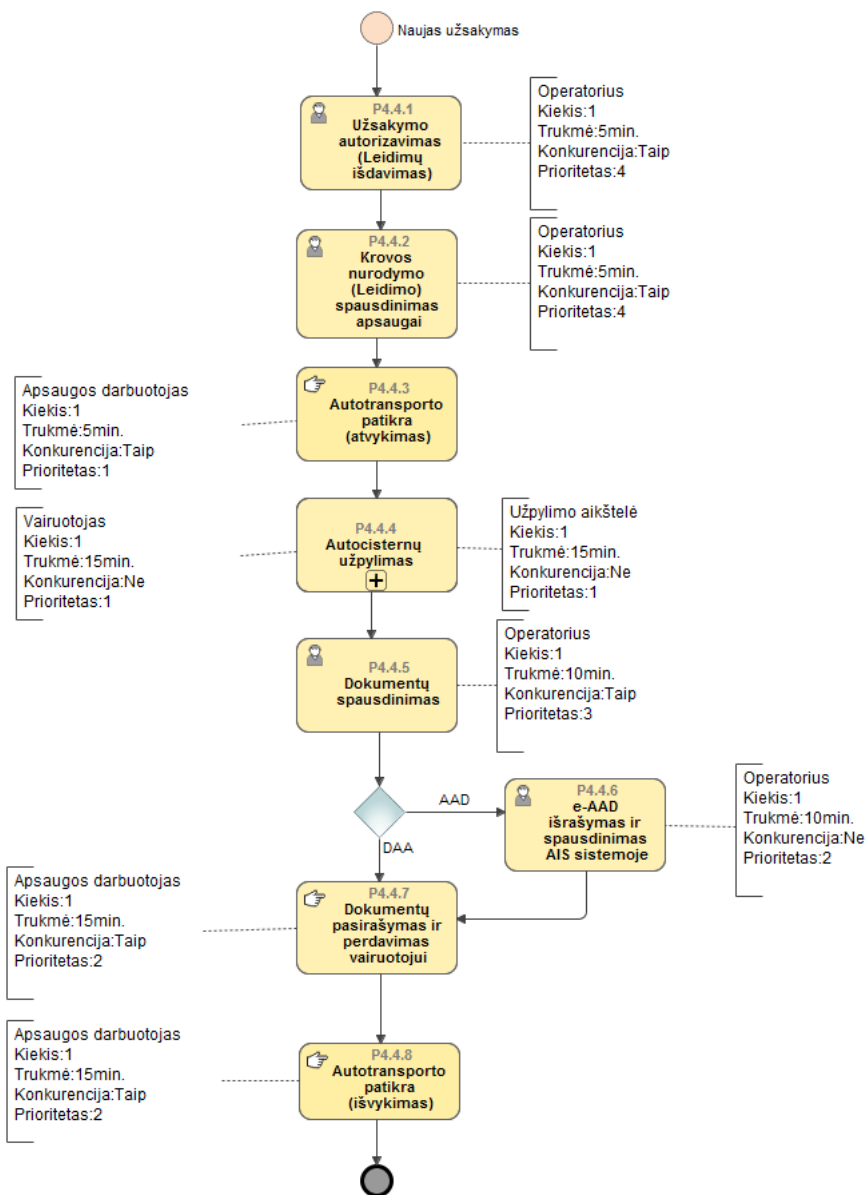
Nustatome pagrindinius išteklius dalyvaujančius ir naudojamus šio verslo proceso. 4.12 lentelėje pateikiami nustatyti ištekliai. Kai kurių išteklių toliau modeliuojant nevertiname. Užsakomas kuras – šis išteklius turėtų būti ribotas ir kritinis, tačiau galimas jo trūkumas yra patikrinamas prieš išduodant leidimą, todėl šiame procese šio ištekliaus nevertiname. Vairuotojas ir autocisterna – šis išteklius laikomas kaip vienu vienetu, nes atskirai egzistuoti negali. Spausdintuvas nagrinėjame procese neatlieka kritinės veiklos, nes yra lengvai pakeičiamas kitu, kadangi yra prienami 2 vienetai prienami.

Išnagrinėjus 20 dienų duomenis nustatyta, kad vidutinis užsakymų skaičius 40 vienetų, t. y. tiek autocisternų atvyksta piltis kuro, todėl atliksime simuliaciją naudojant šį kiekį ir lyginsime gautus rezultatus.

Šiame etape nustatome šiam autocisternų pripylimo procesui kritinius išteklius ir jų savybes (4.13 lentelė). Kainos nevertiname, nes simuliacijos tikslui ji nėra aktuali.

**4.13 lentelė.** Autocisternų pripylimo verslo proceso išteklių savybės**Table 4.13.** Characteristics of resources for tank truck filling business process

Pavadinimas	Savybės					
	Tipas	Mato vnt.	Prieinamumas	Kiekis	Konkurencija	Kaina
Operatorius	Panaudojamas	Vnt.	7:00 – 19:00	1	Taip	-
Apsaugos darbuotojas	Panaudojamas	Vnt.	7:00 – 19:00	1	Taip	-
Pylimo aikštelė (vietos pylimui)	Panaudojamas	Vnt.	00:00 – 24:00	4	Ne	-
Vairuotojas ir autocisterna	Sunaudojamas	Vnt.	7:00 – 19:00	40	Ne	-
Užsakymas	Sunaudojamas	Vnt.	7:00 – 19:00	40	Ne	-



**4.10 pav.** Verslo proceso modelis su ištekliais ir prioritetais

**Fig. 4.10.** Business process model with resources and priority



Atliekame veiklų susiejimą su ištekliais (4.14 lentelė). Kaip matome vairuotojas, autocisterna ir užsakymas yra neatsiejami, t. y. be užsakymo neatvyks autocisterna su vairuotoju.

**4.14 lentelė.** Autocisternų pripylimo proceso ištekliai ir veiklų susiejimas

**Table 4.14.** Mapping of activities and resources of tank truck filling process

Veiklos Ištekliai	P.4.4.1	P.4.4.2	P.4.4.3	P.4.4.4	P.4.4.5	P.4.4.6	P.4.4.7	P.4.4.8
Operatorius	X	X		X	X	X		
Apsaugos darbuotojas			X				X	X
Pylimo aikštelė				X				
Vairuotojas ir autocisterna	X	X	X	X	X	X	X	X
Užsakymas	X	X	X	X	X	X	X	X

Nustatome, kurias veiklas galima pertraukti dėl bendrai naudojamų ištekliai. Iš VP aprašymo matome, kad operatoriaus veiklos yra pertraukiamos, taip pat pertraukiamos veiklos yra apsaugos darbuotojo (tai jau buvo pažymėta 4.13 lentelėje). Nagrinėjame procese nėra pertraukiama autocisternos užpylimo veikla, bei viena pylimo aikštelė nėra bendrai naudojama.

Pažymime išteklius ir jų savybes verslo proceso modelyje (4.10 pav.).

**4.15 lentelė.** Autocisternų pripylimo proceso veiklų trukmės pasiskirstymas

**Table 4.15.** Duration distribution of truck loading process activities

Intervalas	Užsakymo autorizavimas	Krovos nurodymo spausdinimas	Autotransporto patikra	Autocisternos užpylimas	Dokumentų spausdinimas	Dokumentų pasirašymas	Autotransporto patikra išvykimas
1	2	3	4	5	6	7	8
0–5 min.	60 %	20 %	5 %	10 %	70 %	0 %	0 %
5–10 min	10 %	40 %	50 %	15 %	20 %	40 %	1 %
10–15 min.	7 %	19 %	15 %	20 %	5 %	27 %	13 %

4.15 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8
15–20 min.	2 %	16 %	16 %	36 %	2 %	14 %	42 %
20–25 min.	11 %	0 %	2 %	14 %	2 %	7 %	16 %
25–35 min.	5 %	5 %	2 %	0 %	1 %	7 %	10 %
30–35 min.	0 %	0 %	10 %	5 %	0 %	5 %	8 %
35–40 min.	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	7 %
40–45 min.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	4 %
45–50 min.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	4 %
50–55 min.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %
55–60 min.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %

Norint sukurti simuliaciją reikia nustatyti vidutinės veiklų atlikimo trukmes. Jei kuriame simuliaciją egzistuojančiam verslo procesui, tuomet veiklų trukmes galime išmatuoti ar dalį trukmių ištraukti iš įvairių sistemų. Jei VP neegzistuoja, o yra tik kuriamas trukmes galima tik nuspėti arba apklausti modeliuojamų veiklų ekspertus. Nagrinėjamu atveju proceso vidutinė daugelio veiklų trukmė žinoma ir galima pamatuoti, išmatuotų veiklų trukmės vidurkiai sužymėti modelyje.

Atlikus detalią verslo proceso analizę buvo išmatuotos trukmės arba jos ištrauktos iš sistemų kur buvo įmanoma (4.15 lentelė). Analizei buvo paimti 20 darbo dienų duomenys. Simuliacijos įrankyje realizuotas tikimybinis simuliacijos metu veiklų trukmių priskyrimas.

4.16 lentelė. Autocisternų pylimo proceso simuliacijos scenarijai

Table 4.16. Simulation scenarios of tank truck filling process

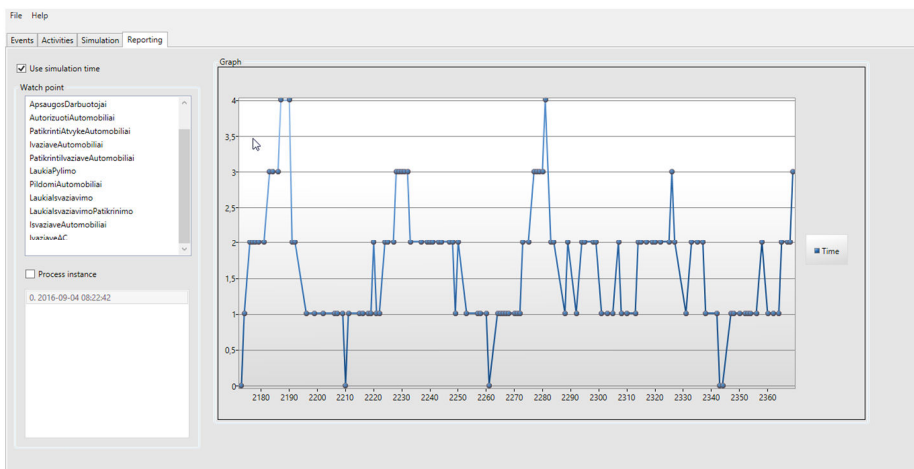
Nr.	Aprašymas	Užsakymų kiekis	Konkurencija ir prioritetai
1.	VP simuliacija be veiklų pertraukimo	40	Veiklų prioritetai vienodi, konkurencija dėl išteklių neleidžiama, veiklos nepertraukiamos
2.	VP simuliacija su veiklų pertraukimu (konkurencija dėl išteklių)	40	Prioritetai vienodi, konkurencija dėl išteklių neleidžiama, veiklos nepertaukiamos

Eksperimento metu bus atliekama simuliacija su dviem scenarijais. Vienas scenarijus skirtas patikrinti sukurto modelio teisingumą. Kitas atlikt simuliacijai, kuri įvertintų konkurenciją dėl išteklių ir patikrintų planuojamus proceso pakeitimus. Simuliacijos scenarijai pateikti 4.16 lentelėje.

**4.17 lentelė.** Verslo proceso simuliacijos be veiklų pertraukimo nustatymai

**Table 4.17.** Parameters for business process simulation without activities interruptions

Veikla	Prioritetas	Konkurencija
P4.4.1	1	Ne
P4.4.2	1	Ne
P4.4.3	1	Ne
P4.4.4	1	Ne
P4.4.5	1	Ne
P4.4.6	1	Ne
P.4.4.7	1	Ne
P4.4.8	1	Ne



**4.11 pav.** Užpylimo aikštelės užimtumas, kai netaikomi prioritetai ir konkurencija dėl išteklių

**Fig. 4.11.** Load of filling lot resource without priorities and competition for resources

Vykdytume simuliaciją Nr. 1 be veiklų pertraukimo ir konkurencijos dėl išteklių. Pradžiai pasinaudodami DBPsim įrankiu kuriame simuliacinį modelį neat-sižvelgdami į veiklų konkurenciją dėl išteklių ir veiklų prioritetus. 4.17 lentelė pateikia veiklų nustatymus šiam simuliacijos scenarijui. Simuliaciniame modelyje taip pat galioja veiklos taisyklė „jei teritorijoje yra daugiau nei 4 autocisternos, tuomet neleisti naujų autocisternų“, taisyklės pseudokodas:

```
IF ivaziaveAuto > 4 THEN WAIT
ELSE RUN AutotransportoPatikra
```

Gauti simuliacijos rezultatai – užpylimo aikštelės užimtumas (4.11 pav.) pa-rodė, kad aikštelė nebūna nuolat apkraunama, kas pastebima ir realybėje. Pateik-tas grafikas Y ašyje žymi aikštelės užimtumą, taigi šis grafikas parodo, kad pylimo aikštelėje užimtą 4 pylimo vietas būna retai.

**4.18 lentelė.** Verslo proceso simuliacijos su veiklų pertraukimu nustatymai

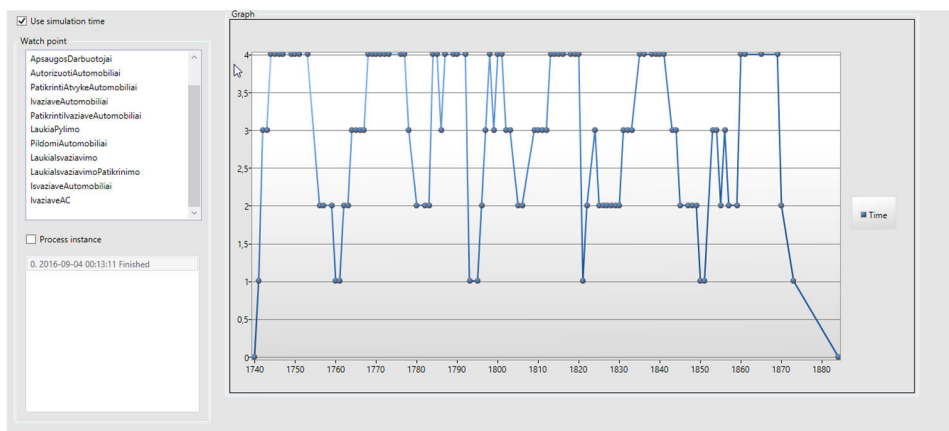
**Table 4.18.** Parameters for business process simulation with activities interruptions

Veikla	Prioritetas	Konkurencija
P4.4.1	2	Ne
P4.4.2	2	Ne
P4.4.3	3	Ne
P4.4.4	1	Ne
P4.4.5	1	Ne
P4.4.6	1	Ne
P.4.4.7	1	Taip
P4.4.8	1	Taip

Vykdytume VP simuliaciją Nr. 2 su veiklų pertraukimu arba veiklų konku-rencija dėl išteklių. Tai pat pakeista veiklos taisyklė, kad teritorijoje gali būti tik 4 autocisternos, taip yra dėl mutinės reikalavimų, saugumo avarijos atveju ir vie-tos trūkumo papildomai autocisternai. Daug didinti šio autocisternų skaičiaus ter-ritorijoje negalima, todėl nutarta pabandyti su 5 autocisternomis. Pavyzdžiui, 4 autocisternos pilasi, 1 laukia pylimo. Taisyklės pseudokodas:

```
IF ivaziaveAuto > 5 THEN WAIT
ELSE RUN AutotransportoPatikra
```

Pakeičiame simuliacijos nustatymus, kuriuos pritaikome, kad apsaugos dar-buotojo veiklos yra pertraukiamos ir aukščiausias prioritetas uždėdamas įvažia-vimo metu autotransporto patikrai (4.18 lentelė). Taip siekiama, kad užpylimo aikštelė būtų kaip įmanoma daugiau apkrauta.



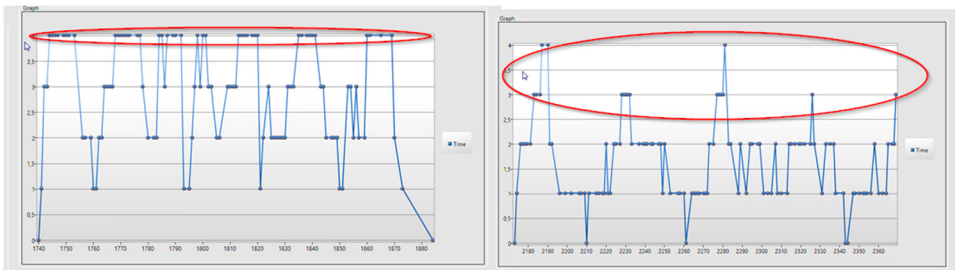
**4.12 pav.** Išteklių pylimo aikštelės apkrova, kai taikomi prioritetai

**Fig. 4.12.** Load of filling lot resource with priorities

4.12 paveiksle pateikiamas grafikas, iš kurio galime matyti, kaip pasikeitė aikštelės apkrova įvedus pakeitimus į simuliacinį modelį ir įvykdžius VP simuliaciją. Padidėjo aikštelės apkrova, daugiau autocisternų aptarnaujama vienu metu.

VP simuliacija su scenarijumi Nr. 1 buvo atliekama iki tol, kol pasiektas mažesnis nei 10 % tikslumas, lyginant simuliacijos rezultatus su realiais duomenimis pagal užpylimo aikštelės apkrovą. Šis parametras parinktas todėl, kad šio proceso butelio kakliukas yra užpylimo aikštelė, t. y. jos pylimo vietų kiekis yra ribotas ir išplėsti yra sudėtinga bei brangu, todėl norint aptarnauti įmanomai didžiausią kiekį autocisternų, turi būti pylimo vietos apkrautos įmanomai maksimaliai. Simuliacijos su scenarijumi Nr 2. tikslas buvo apkrauti proceso „butelio kakliuką“, t. y. užpylimo aikštelę. Autocisternų patikrai įleidimo metu buvo nustatytas aukščiausias prioritetas, kad apsaugos darbuotojas pirmiausia atliktų veiklas su autocisternų įleidimu.

Iš eksperimento rezultatų teigiame, kad prioritetų įvedimas ir išleidimo veiklos pertraukimas pakeitė procesų egzempliorių veiklų vykdymo tvarką ir išteklių apsaugos darbuotojas buvo naudojamas pirmiausia atlikti įleidimo veiklai. Atlikus VP simuliaciją su pakeitimais, simuliacijos rezultatai parodė, kad pylimo aikštelė yra labiau apkrauta. 4.13 paveiksle raudonai pažymėta simuliacijos metu gauta aikštelės apkrova po pakeitimų ir prieš juos. Prieš pakeitimus 40 cisternų pylimo aikštelėje buvo pripildtos per 180 minučių, o po pakeitimų – per 140 minučių. Pasiektas 22 % pagreitėjimas.



**4.13 pav.** Pakeitimų įtaka vykdant simuliaciją  
**Fig. 4.13.** The effect of changes during simulation

Įvykdžius simuliaciją keletą kartų buvo nuspręsta įgyvendinti pakeitimus realiame verslo procese. 4.19 lentelė parodo skirtumus realiame verslo procese. Šiai analizei imami duomenys 10 minučių intervale ir nustatoma būsena, t. y. kiek autocisternų laukia įvažiuoti, kiek jų pilasi, kiek laukia išvažiuoti per apsaugos postą. Vienintelis skirtumas lentelėje, kad po padarytų pakeitimų gali būti, kad viena autocisterna laukia pylimo (kaip minėta, yra 4 pylimo vietos). Situacija realybėje pagerėjo, buvo pasiekta iki 20% didesnė užpylimo aikštelės apkrova. Tačiau visgi sudėtinga palyginti simuliacijos rezultatus ir realų procesą, nes:

- Šis procesas yra dinamiškas, priklauso nuo rinkos, kurią sudėtinga prognozuoti, todėl kiekvieną dieną yra skirtingas autocisternų skaičius.
- Keičiasi vairuotojai, o jie turi išmanyti procesą, pavyzdžiui, kaip pasijungti žarnas ir pradėti pylimą, kokia yra tvarka įvažiuoti į teritoriją.
- Įtakoja oro sąlygos.
- Darbuotojai turi įsisavinti naujas taisykles, t. y. jei nėra 5 autocisternų teritorijoje, tuomet reikia nutraukti vykdomą veiklą ir įleisti autocisterną, tai ne visada suveikia.
- Keičiasi įmonės darbuotojai, o kaip teigta 2 skyriuje žmogus nedarba pastoviu greičiu ir darbas priklauso nuo įgūdžių.
- Modelis neįtraukia visų galimų veiksnių, kurie gali įtakoti procesą.

Iš to seka, kad VP simuliacija panašaus verslo proceso gali duoti tik galimą proceso pagerinimo tendenciją, o ne visiškai tikslų rezultatą, kuris atitiktų ir situaciją realybėje.

Eksperimentas taip pat parodė, kad veiklos pertraukimas yra svarbus kitoms veikloms procese. Pertraukimas įtakojo kitų išteklių apkrovą, o simuliacija parodė, kad 40 autocisternų galima aptarnauti 22 % greičiau. Buvo vykdyta simuliacija skirtingiems VP egzemplioriams, tai parodė, kad skirtingi VP egzemplioriai konkuruoja dėl išteklių ir atitinkamai VP vykdymas keičiasi, todėl svarbu vykdant proceso simuliaciją įvertinti kiek skirtingų VP egzempliorių reikia, kad susimuliuoti realiai situaciją.

4.19 lentelė. Pakeitimų įtaka verslo procesui

Table 4.19. Effect of changes in the business process

Situacija prieš pakeitimus					Situacija po pakeitimų				
Intervalo pradžia	Intervalo pabaiga	Laukia	Pilasi	Laukia išvažiuoti	Intervalo pradžia	Intervalo pabaiga	Laukia	Pilasi ir laukia pylimo	Laukia išvažiuoti
07:30	07:40	10	0	0	07:00	07:10	9	0	0
07:40	07:50	7	3	0	07:10	07:20	8	1	0
07:50	08:00	7	3	0	07:20	07:30	6	5	1
08:00	08:10	6	3	1	07:30	07:40	3	3	4
08:10	08:20	6	2	1	07:40	07:50	3	2	3
08:20	08:30	5	3	1	07:50	08:00	2	4	2
08:30	08:40	5	2	1	08:00	08:10	2	3	3
08:40	08:50	6	1	2	08:10	08:20	2	2	1
08:50	09:00	7	0	2	08:20	08:30	1	4	1
09:00	09:10	6	2	0	08:30	08:40	1	1	3
09:10	09:20	5	3	0	08:40	08:50	2	1	2
09:20	09:30	6	3	0	08:50	09:00	0	3	1
09:30	09:40	4	2	3	09:00	09:10	2	3	0
09:40	09:50	4	1	2	09:10	09:20	0	4	1
09:50	10:00	5	0	2	09:20	09:30	1	4	2
10:00	10:10	5	1	2	09:30	09:40	1	3	2
10:10	10:20	6	1	1	09:40	09:50	0	5	1
10:20	10:30	5	1	2	09:50	10:00	0	4	0
10:30	10:40	5	1	0	10:00	10:10	0	3	1
10:40	10:50	6	1	1	10:10	10:20	0	2	1
10:50	11:00	5	3	1	10:20	10:30	0	2	0
11:00	11:10	5	2	1	10:30	10:40	0	3	0
11:10	11:20	5	3	3	10:40	10:50	0	3	0
11:20	11:30	5	1	2	10:50	11:00	0	2	1
11:30	11:40	3	2	1	11:00	11:10	3	2	0
11:40	11:50	2	2	1	11:10	11:20	2	3	0
11:50	12:00	2	2	0	11:20	11:30	4	4	0
12:00	12:10	2	3	1	11:30	11:40	4	4	1
12:10	12:20	2	2	2	11:40	11:50	2	5	3
12:20	12:30	2	3	1	11:50	12:00	3	5	4
12:30	12:40	2	2	1	12:00	12:10	3	4	4

Žinoma, proceso vykdymo laiką šiuo atveju pagerintu papildomas apsaugos darbuotojas ar papildomi mokymai, tačiau tai nėra šio darbo tikslas.

## 4.4. Eksperimentų rezultatai ir metodo įvertinimas

Metodas panaudotas įmonėje, kuri užsiima naftos produktų perkrova. Verta paminėti, kad šioje įmonėje yra modeliuojami verslo procesai naudojant BPMN, tačiau

vienas iš minėtų trūkumų yra, kad BPMN kalba neturi pakankamai priemonių modeliuoti išteklius. Todėl dalis šio metodo, tai yra grafinis išteklių vaizdavimas BPMN įmonėje naudojamas ir tai leidžia lengviau suprasti vykstantį procesą verslo atstovams.

**4.20 lentelė.** Metodo įvertinimas naudojant stiprybių ir silpnybių, galimybių ir grėsmių analizę

**Table 4.20.** Evaluation of the method using strengths, weaknesses, opportunities, and threats analysis

Privalumai	Trūkumai
Galimas VP modelio pakartotinis panaudojimas Išteklių ir jų savybių specifikavimas VP modelyje supaprastina VP analizės etapą ir VP validavimą VP modelis lengviau suprantamas už matematinį modelį Įvertinami bendrai naudojami ištekliai	Nėra integruotas su kitomis sistemomis Nėra atsižvelgiama į visus galimus procesą įtakojančius veiksniai Reikalauja daug inžinerinio ir analitinio darbo
Galimybės	Grėsmės
Simuliacija su veiklų konkurencija dėl išteklių gali atskleisti VP optimizavimo galimybių. Metodą galima integruoti į kitas sistemas ar metodus	Gali neduoti lauktų tikslų simuliacijos rezultatų Sprendimų priėmėjai gali per daug pasitikėti gautais simuliacijos rezultatais

Literatūroje egzistuojantys metodai daugumoje yra grindžiami matematinių modelių sudarymu, o metodai, kurių pagrindas būtų VP modeliai nėra pakankami išvystyti. Nors literatūroje atskleidžiami simuliacijos trūkumai, tačiau nėra pateikiama pasiūlymų kaip spręsti problemas. Darbe pasiūlytas metodas leidžia įvykdyti VP, kuriame veiklos konkuruoja dėl bendrai naudojamų išteklių, simuliaciją. Metodo taikymo metu sukurti artefaktai gali būti panaudoti kitose srityse. Pavyzdžiui, sukurtas BPMN modelis gali būti sėkmingai panaudotas VP dokumentavimui, o matematinio modelio pagrindu toks pritaikymas būtų sudėtingas.

Bendrai naudojami ištekliai pakeičia proceso vyksmą laike ir veiklų vykdymo eilę, o tai įtakoja išteklių planavimą atsižvelgiant į simuliacijos rezultatus. Konkurencija dėl bendrai naudojamų išteklių dažnas atvejis verslo procesuose, ypač tuose, kuriuose dalyvauja žmoniškieji ištekliai. Kaip parodė eksperimentai, egzistuoja verslo taisyklės veikloms, kurios gali būti laikinai nutrauktos ir vykdomos kitos veiklos.



Išdėstyti privalumai ir trūkumai pasiūlyto metodo yra sutraukti naudojant SSGG (Stiprybės ir silpnybės, galimybės ir grėsmės) analizės matricą (4.20 lentelė).

Ekspimento metu padaryti pakeitimai verslo procese buvo įgyvendinti ir realybėje. Simuliacija padėjo įvertinti galimą VP išteklių apkrovos pagerėjimą. Realybėje pastebėti nukrypimai nuo simuliacijos rezultatų. Simuliacijos metu buvo vertinama, kad jei nėra 5 autocisternų teritorijoje, tuomet visada vykdomas autocisternos įleidimas. Tačiau realybėje, tai sprendžia žmogus, todėl jis ne visada pertraukia vykdomą veiklą, dėl tam tikrų priežasčių, pavyzdžiui, nežino kiek autocisternų yra teritorijoje ar pan. Iš to seka, kad padarant pakeitimus realiaame VP pagal tinkamiausią simuliacijos scenarijų, reikia įvertinti kitus reikiamus pakeitimus realybėje.

## 4.5. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Bendrai naudojami ištekliai gali pakeisti proceso vyksmą laike. Tokie pasikeitimai įtakoja ir planavimą, t. y. galima kitaip suplanuoti išteklius, pavyzdžiui, išteklių darbo laiką. Išteklių naudojimas taip pat įtakoja ir galimas pajamas iš vykstančių verslo procesų. Atlikti detalių gamybos ir autocisternų pripylimo procesų simuliacijos eksperimentai, parodė, kad yra situacijų, kuomet reikia vykdyti prioritетines veiklas ir pertraukti tuo metu vykdomas. Tokiais atvejais reikia įvertinti bendrai naudojamus išteklius.
2. Atlikta autocisternų pripylimo proceso simuliacija, kai veiklos pertraukiamos dėl bendrai naudojamų išteklių ir kai nepertraukiamos, parodė, kad bendrai naudojamų išteklių simuliacija yra aktuali. Rezultatai parodė 22 % pagreitėjimą aptarnaujant autocisternas, lyginant su proceso simuliacijos rezultatais be veiklų pertraukimo.
3. Atlikti eksperimentai su autocisternų pripylimo proceso simuliacija parodė, kad verslo proceso su bendrai naudojamais ištekliais simuliacijos metodas tinkamas ir įgyvendinamas praktikoje. Gauti simuliacijos rezultatai po VP pakeitimų parodė, jog vykdant verslo procesą atsiranda paklaida, tačiau simuliacijos rezultatų tendencija teisinga.



---

## Bendrosios išvados

1. Su verslo procesų modeliavimo ir simuliacijos metodais susijusių ir juos realizuojančių įrankių analizė parodė, kad VP modeliuose išsamiai vaizduojami darbų srautai ir kontrolės logika, tačiau nepakankamai vaizduojami procesų naudojami ištekliai, reikalingi procesų simuliaciniuose modeliuose. Be to, darbe atlikta analizė parodė, kad praktikoje verslo procesams dokumentuoti plačiausiai naudojama BPMN. Todėl kuriant VP simuliaciją tikslinga naudoti BPMN modelius. Tačiau BPMN nepakankamai palaiko išteklių modeliavimą, kas reikalinga kuriant simuliacinius modelius. Iš to seka, kad reikalingas būdas vaizduoti išteklius BPMN modelyje. Taip pat analizė parodė, kad BPMN modelių, kuriuose naudojami ištekliai, simuliacija nėra tinkamai realizuojama egzistuojančiuose VP simuliacijos įrankiuose.
2. Išanalizuoti veiklos taisyklėmis grindžiamų VP su bendrai naudojamais ribotais ištekliais modeliavimo ir simuliacijos metodai ir jų realizacija. Nustatyta, kad egzistuojantys simuliacijos metodai ir juos realizuojantys įrankiai nepakankamai atsižvelgia į išteklių tipus ir jų savybių įvairovę. Pavyzdžiui, neatsižvelgiama į tai, kad ištekliai, kurių tipas „panaudojami“, tokie kaip žmonės, gali pagal taisykles rinktis, kada ir kokias veiklas ar procesus jiems vykdyti. Taip pat gali vykti veiklų konkurencija dėl išteklių. Tokiu atveju veiklos su aukštesniu

prioritetu gali laikinai nutraukti žemesnio prioriteto veiklas, tam, kad atlaisvinti sau reikalingus išteklius. Be to, analizė parodė, kad egzistuojantys simuliacijos metodai nepakankamai atsižvelgia į išteklių ribotumą ir jų bendrą naudojimą. Tai turi būti įvertinta kuriamuose VP modeliuose ir jų simuliacijos metoduose.

3. Darbe suformuluoti išteklių modeliavimo VP modelyje reikalavimai. Jų pagrindu pasiūlytas naujas išteklių vaizdavimo BPMN modelyje būdas ir jam įgyvendinti reikalingas metamodelio praplėtimas. Toks išteklių vaizdavimas suteikia galimybę analizuoti verslo procesuose naudojamus išteklius. Pasiūlyto išteklių modeliavimo pagrindu sukurtas verslo procesų su bendrai naudojamais ištekliais modeliavimo ir simuliacijos metodas. Šio metodo panaudojimas leidžia tiksliau įvertinti realiai vykstančio proceso sunaudojamus išteklius.
4. Darbe atlikti eksperimentai, kuriems naudojamas autoriaus išplėstas VGTU Informacinių sistemų laboratorijoje vystomas DBSim įrankis, kuriame realizuotas darbe pasiūlytas verslo procesų su bendrai naudojamais ištekliais modeliavimo ir simuliacijos metodas. Naudojant simuliaciją, atlikti eksperimentai su autocisternų pripylimo proceso simuliacija, kuriame vyksta šio proceso skirtingų egzempliorių veiklų (pavyzdžiui, autocisternos patikra) konkurencija dėl bendrai naudojamų išteklių (apsaugos darbuotojas). Atlikti eksperimentai parodė, kad simuliacijos, naudojant pasiūlytą metodą ir tokiu būdu įvertinant bendrą išteklių naudojimą, metu gauta proceso vidutinė trukmė yra iki 20 % mažesnė negu simuliacijos metu gaunama proceso vidutinė trukmė, kai neįvertinami bendrai naudojami ištekliai, ir gaunama trukmė sutampa su vykstančio veiklos proceso pamatuota trukme su 10 % tikslumu.
5. Eksperimentas atliktas su verslo procesu, kurį norima patobulinti. Parinkti du autocisternų pylimo proceso simuliacijos scenarijai. Vienu atveju, išteklius naudojamas bendrai, kitu atveju, išteklius yra naudojamas tik vienoje veikloje. Atlikta VP simuliacija ir gauti rezultatai parodė, kad galima iki 22 % pagreitinti autocisternų aptarnavimą, jeigu realiaame procese išteklius (apsaugos darbuotojas) naudojamas bendrai. Šis rezultatas panaudotas tobulinant verslo procesą, o praktiškai gaunami rezultatai patvirtino simuliacijos metu gaunamą mažesnę aptarnavimo trukmę, kai išteklius naudojamas bendrai.

---

## Literatūra ir šaltiniai

Aalst, W. M. P. 2015. Business Process Simulation Survival Guide. *Handbook on Business Process Management*, Berlin Heidelberg: Springer, 1: 337–370.

Aalst, W. M. P.; Benatallah, B.; Casati, F.; Verbeek, E. 2007. Business Process Management: Where Business Processes and Web Services Meet. *Data & Knowledge Eng.* 61(1): 1–5.

Aalst, W. M. P.; ter Hofstede, A. H. M. 2005. YAWL : Yet Another Workflow. *Information Systems*, Technical Report, Queensland University of Technology, 30(4): 245–275.

Andrews, T. F.; Curbera, H.; Dholakia, Y.; Golland, J.; Klein, F.; Leymann, K.; Liu, D.; Roller, D.; Smith, Thatte, S. 2003. Business Process Execution Language for Web Services. Version 1.1. *Technical report*. [žiūrėta 2011 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee251594\(v=bts.10\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee251594(v=bts.10).aspx).

Anylogic [žiūrėta 2014 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.anylogic.com/overview>.

April, J.; Better M.; Glover F. 2006. Enhancing Business Process Management With Simulation Optimization. *38th conference on Winter simulation*. 642–649.

Avriel, M.; Golany, B. 1996. Mathematical Programming for Industrial Engineers. *CRC Press*.

Awad, A.; Grosskopf, A.; Meyer, A.; Weske, M. 2009. Enabling Resource Assignment Constraints in BPMN. *Technical report, Business Process Technology-Hasso Plattner Institute*. [žiūrėta 2012 m. spalio 4 d.]. Prieiga per internetą: [https://141.89.225.29/foswiki/pub/Public/BptPublications/Enabling\\_Resource\\_Assignment\\_Constraints\\_in.pdf](https://141.89.225.29/foswiki/pub/Public/BptPublications/Enabling_Resource_Assignment_Constraints_in.pdf)

Banks, J.; Carson, J.; Nelson, B. 2001. *Discrete Event System Simulation*. Prentice Hall.

Bartolini, G.; Punta E.; Zolezzi, T. 2004. Simplex methods for nonlinear uncertain sliding-mode control. *IEEE Transactions on Automatic control*, 49(6): 922–933.

Bartolini, G.; Punta E.; Zolezzi, T. 2007. Regular simplex method and chattering elimination for nonlinear sliding mode control of uncertain systems. *46th IEEE Conference on Decision and Control*. 2029–2034.

Bertsekas, D. P. 2007. *Dynamic programming and optimal control*. Athena Scientific.

Bonita Open Solution. [žiūrėta 2011 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.bonitasoft.com>.

Bosilj-Vuksic, V.; Vlatko, C.; Vlatka, H. 2007. Criteria for the Evaluation of Business Process Simulation Tools. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge and Management*, (2): 74–88.

BPMI. [žiūrėta 2015 m. rugsėjo 30 d.]. Prieiga per internetą: [www.bpmi.org](http://www.bpmi.org).

Brahe, S. 2007. BPM on Top of SOA: Experiences from the Financial Industry. In P. D. G. Alonso and M. Rosemann, editors, *BPM2007, volume 4714 of. Heidelberg: Springer*, 96–111.

Brahe, S.; Bordbar, B. 2011. Towards Flexible Business Process Modeling and Implementation: Combining Domain Specific Modeling Languages and Pattern-based Transformations. [žiūrėta 2011 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.cs.bham.ac.uk/~bxb/Papres/ResearchCommittee/SB\\_BB.pdf](http://www.cs.bham.ac.uk/~bxb/Papres/ResearchCommittee/SB_BB.pdf).

Brocke, J.; vom. 2008. *Handbook of business process management*. Springer: Berlin.

Changrui, R. 2008. Towards a flexible business process modeling and simulation environment. *Simulation Conference. Beijing: IBM China Research Laboratory*. 1694–1701.

Changrui, R.; Wang, W.; Dong, J.; Ding, H.; Shao, B; Wang, Q. 2008. Towards a flexible business process modelling and simulation environment. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. 1694–1701 .

Colin, S.; Kelly; D. A. and Heather Ashton. 2011. Choosing the Right BPM Solution for Your Organization. *Upside Research, Inc*.

Concannon, K. H.; Hunter, K. I.; Tremble, J. M. 2003. SIMUL8-Planner simulation-based planning and scheduling. *The 35th conference on Winter simulation: driving innovation. Winter Simulation Conference*. 1488–1493.

Davenport, T. H.; Short, J. E. 1990. The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign. *MIT Sloan Management Review*, 31(4):1–17.

- De La Vara, J. L.; Dalpiaz Ali, R.; Sánchez, F.; Giorgini, P. J. 2010. Business Processes Contextualisation. *International Conference on Conceptual Modeling*. Berlin Heidelberg: Springer. 471–476.
- Denisovas, V. 2000. Modeliavimas dalykų dėstyme. *Informatika*, 2(36): 5–34.
- Drools (OptaPlanner). [žiūrėta 2015 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.optaplanner.org/>.
- Fischer, L. 2005. *Workflow Handbook*. Future Strategies.
- Framinana, J. M.; Ruizb, R. 2010. Architecture of manufacturing scheduling systems: Literature review and an integrated proposal. *European Journal of Operational Research*, 205(2): 237–246.
- González-Ferrer, A.; Fdez-Olivares, J.; Castillo, L.; Morales, L. 2008. Towards the Use of XPD L as Planning and Scheduling Modeling Tool: the Workflow Patterns Approach. *Advances in Artificial Intelligence – IBERAMIA 2008*, 5290: 52–61.
- Großkopf, A. 2007. An Extended Resource Information Layer for BPMN. *Hasso-Plattner-Institute for IT Systems Engineering*. University of Potsdam.
- Günter, S.; Braun, O. 2005. How to Model Business Processes with GPN. *IFIP International Federation for Information Processing, Volume 183, Knowledge Sharing in the Integrated Enterprise*. 289–302.
- Haapaniemi, H. 1998. *Process Excellence Handbook*. Andersen Consulting.
- Hammer, M. 2009. What is Business Process Management. *Handbook on Business Process Management*, (1): 3–16.
- Hollingsworth, D. 1994. The Workflow Reference Model. *Workflow Managment Colition*. TC00-1003.
- Jansen-Vullers, M. H., Netjes M. 2006. Business Process Simulation - A Tool Survey. *In Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN*. Citeseer. 77–96.
- Januszczak, J. 2011. Simulation for Business Process Management. *BPMN 2.0 Handbook*. 43–57. Florida: Future Strategies.
- Jeong, K. Y. 2000. Conceptual frame for development of optimized simulation-based scheduling systems. *Expert Systems with Applications*, 18(4): 299–306.
- Jinyoung, M.; Lee, D.; yu Park, C.; Cho, H. 2004. Transformation Algorithms between BPEL4WS and BPML for the Executable Business Process. *Proceedings of the 13th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*. IEEE Computer Society. 135–140.
- Kaliyamoorthy, S., Kumar, S.M., Dominic, P. D. D. 2004. Efficient dispatching rules for dynamic job shop. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 24(1-2): 70–75.

- Ko, Ryan, K.L., S. S.G. Lee, Lee, L. E. 2009. Business process management (BPM) standards: a survey. *Business Process Management Journal*, 15(5): 744–791.
- Kovács, A., Váncza, J., Kádár, B., Monostori, L., Pfeiffer, A. 2003. Real- life scheduling using constraint programming and simulation. *Intelligent Manufacturing Systems*. 213–228.
- Kumar, M., Bhat, J. M. 2010. Discrete Event Monte-Carlo Simulation of Business Process for Capacity Planning: A Case Study. *Sustainable IT Collaboration Around the Globe. 16th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2010*.
- Laguna, M., Marklund, J. 2004. *Business process modeling, simulation and design*. Prentice Hall.
- Li, X., Gao, L., Zhang, C., Shao, X. 2010. A review on Integrated Process Planning and Scheduling. *International Journal of Manufacturing Research*, 5(2): 161–180.
- Muehlen, M. 2002. Workflow-based Process Controlling Foundation, Design, and Application of Workflow-driven Process Information System.
- Muehlen, M.; Indulska, M.; Kittel, K. 2008. Towards Integrated Modeling of Business Processes and Business Rules. In *19th Australasian Conference on Information Systems ACIS 2008*. Christchurch, New Zealand. 690–699.
- Nance, R. E. 1993. *A History of Discrete Event Simulation Programming Languages*. Blacksburg, Virginia.
- OMG. 2011. Business Process Model and Notation (BPMN) v.2.0. [žiūrėta 2012 m. spalio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>.
- Ouyang, C.; Wynn, M. T.; Fidge, C.; ter Hofstede, A. H.; Kuhr, J. C. 2010. Modelling complex resource requirements in business process management systems. *ACIS 2010 Proceedings*.
- Overdick, H. 2003. Implementation Concepts for Workflow Patterns. *Process-oriented Information Systems*.
- Owen, M.; Raj. J. 2003. BPMN and business process management. *Introduction to the new business process modeling standard*.
- Paul, R. J.; Hlupic, V.; Giaglis, G. 1998. Simulation modeling of business processes. In *Proceedings of the 3rd UK Academy of Information Systems Conference*. 311–320.
- Peng, D.; Cheng, L.; Zhou, H.; Zhang, X. 2012. Study and application of business optimization and evaluation. *Asia – Pacific services computing conference*. 380–383.
- Petkov, S.; Oren, E.; Haller, A. 2005. Aspects in Workflow Management. DERI Technical Report. *Digital Enterprise Research Institute (DERI)*.
- Pray T. F.; Gold S. 1982. Inside the black box: an analysis of understanding demand functions in contemporary business simulations. *Developments in Business Simulation & Experiential Exercises*. 110–116.



- Robbins, T. R.; Harrison, T. P. 2008. A simulation based scheduling model for call centers with uncertain arrival rates. *40th Conference on Winter Simulation*. 2884–2890.
- Rosemann, M.; Recker, J.; Flender, C. 2008. Contextualisation of business processes. *International Journal of Business Process Integration and Management*, t 3(1): 47–60.
- Rosenberg, F.; Schahram D. 2005. Business Rules Integration in BPEL – A Service-Oriented Approach. *Proceeding CEC '05 Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology*. Washington. 476–479.
- Rummmler, B. 1995. Improving performance: How to manage the white space on the organiozatonal chart. *San Francisco: Jossey-Bass*.
- Scheer A.W.; Thomas O.; Adam O. 2005. Process-Aware Information Systems: Bridging People and Software Through Process Technology.
- Shannon, E. R. 1975. *System simulation: the art of science*. Prentice-Hall.
- Sparx Systems. 2004. UML Tutorials: The business process model. *Sparx Systems*.
- Stroppi, L.; Ramón, J.; Chiotti, O.; P. D. Villarreal. 2011. A BPMN 2.0 Extension to Define the Resource Perspective of Business Process Models. *XIV Iberoamerican Conference on Software Engineering*, 1–14.
- Tako, A. A.; Robinson, S. 2012. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems* 52(4): 802–815.
- Vasilecas, O.; Saulis, A. 2008. Informacinių sistemų kūrimo metodai ir technikos. *Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla*.
- Venkateswaran, J.; Son, Y-J. 2005. Hybrid system dynamic—discrete event simulation-based architecture for hierarchical production planning. *International Journal of Production Research*, 43(20): 4397–4429.
- Vilnius Gediminio Technikos Universitetas. 2016. DBPSim simulation tool. <http://www.vgtu.lt/faculties/departments/institute-of-applied-computer-science/departments/information-systems-research-laboratory/73139#tab-other-activity>.
- Weise, T. 2009. Global optimization algorithms—theory and application. [žiūrėta 2015 m. gegužės 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.it-weise.de/research/publications/W2009GOATAA/index.html>.
- Werner, M. B.; Horne, R. E. 1997. Creating a flexible, simulation-based finite scheduling tool. *29th conference on Winter simulation*. IEEE Computer Society, 853–860.
- Workflow Management Coalition. 1999. Terminology & Glossary. Document Number WPMC-TC-101. [žiūrėta 2011 m. liepos 9 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.wfmc.org/docs/TC-1011\\_term\\_glossary\\_v3.pdf](http://www.wfmc.org/docs/TC-1011_term_glossary_v3.pdf).
- YAWL. 2012. YAWL. The YAWL Foundation. [žiūrėta 2012 m. rugpjūčio 26 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.yawlfoundation.org/yawldocs/YAWLUserManual2.0.pdf>.

Young-Jun, S.; Rodríguez-Rivera, H.; Wysk, R. A. 1999. A multi-pass simulation-based, real-time scheduling and shop floor control system. *Transactions of the Society for Computer Simulation International – modeling and simulation in manufacturing*, 16(4): 159–172.

---

## Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

### **Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose**

Rima, A.; Šmaižys, A.; Vasilecas, O. 2012. Verslo taisyklėmis grindžiamas planavimas ir tvarkaraščių sudarymas. *Jaunųjų mokslininkų darbai* 4(37): 120–126. ISSN 1648-8776.

Vasilecas, O.; Laureckas, E.; Rima, A. 2014. Analysis of Using Resources in Business Process Modeling and Simulation. *Applied Computer Systems* 16: 19–25. ISSN 2255-8683.

Vasilecas, O.; Šmaižys, A.; Rima, A. 2013. Business process modelling and simulation: hybrid method for concurrency aspect modelling. *Baltic Journal of Modern Computing (BJMC)*. Ryga: University of Latvia 1(3–4): 228–243. ISSN 2255-8942.

Rima, A.; Vasilecas, O. 2015. Verslo procesų simuliacija: verslo procesų ir išteklių modelių reikalavimai. *Mokslas – Lietuvos ateitis: elektronika ir elektrotechnika*, Vilnius: Technika, 7(3): 291–295. ISSN 2029-2341.

Rima, A.; Šmaižys, A.; Vasilecas, O. 2013. Comparative analysis of business rules and business process modelling languages. *Computational Science and Techniques* 1(1): 45–51. ISSN 2029-9966.

### **Straipsniai kituose leidiniuose**

Raudonius, L.; Vasilecas, O.; Šmaižys, A.; Rima, A. 2012. Simuliacijos įrankių atrankos kriterijų analizė ir tinkamumo verslo procesų optimizavimui įvertinimas. *Technologijos*

*mokslo darbai Vakarų Lietuvoje*, Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla, VIII: 240–245. ISSN 1822-4652.

Vasilecas, O.; Rima, A.; Laureckas, E. 2014. Verslo procesų modeliavimas ir simuliacija: išteklių aspekto modeliavimo problemos. *17-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“ Informatika. Sekcija „Informacinės sistemos ir technologijos“*, Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 1–5. ISSN 2029-7149.

Vasilecas, O.; Kalibatienė, D.; Rima, A.; Birzniece, I.; Rudzajis, P. 2015. A resource model for the rule-based dynamic business process modelling and simulation. *The 2015 European Simulation and Modelling Conference – Modelling and Simulation'2015 – ESM'2015*, 36–41. ISBN 9789077381908.

Rima, A.; Šmaižys, A.; Vasilecas, O. 2011. Sprendimų rėmimo sistemose naudojamų duomenų saugyklų projektavimo metodų analizė. *14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2011 metų teminės konferencijos „Informatika“ straipsnių rinkinys*, Vilnius: Technika, 1–5. ISSN 2029-7149, ISBN 9789955288343.

Budrytė R.; Šmaižys A.; Rima A. 2013. Verslo procesų modeliu grindžiamas diskrečių įvykių simuliacijos kūrimas. *XVI kompiuterininkų konferencijos mokslo darbai*, Šiauliai: Žara, 7–11. ISBN 978-9986-34-293-9.

---

# Summary in English

## Introduction

### Problem Formulation

The success of enterprises in the contemporary business world is becoming more and more dependent on both their ability to leverage knowledge, including knowledge defined by business rules (BR), and their ability to react to a rapidly changing context, i.e., changes within and outside an enterprise, in an agile and flexible way. Present-day static business rules (BR) and business rules models used and automated in IT systems are not sufficient for the dynamically changing and goal oriented business any longer, as change implementation takes too much time, and a business system is incapable of adapting to unsuspected exceptions within an acceptable timeframe. Moreover, in its relentless pursuit to adjust to customer needs and context alterations and to continuous growth of efficacy, modern business needs answers to a serious question “what happens, if...?”. These problems are being solved using information technology (IT) and newly proposed IT based ways. One of methods is BP simulation.

Business process management systems (BPMS) support business process modelling by using BP modelling languages and execution of these models. However, when there is a need to simulate a BP, there are difficulties to contend. Nevertheless, BPMS do not address the limitations of resources and the usage of the latter, and the business process modelling tools do not provide adequate support of resource modelling in business process models. This means that business process analysis using results yielded by business pro-

cess simulation will be inaccurate, as resources were not properly taken into account during simulation. Because of this, conclusion making based on results of a simulation like this will be complicated, and in real life, such conclusions followed by business process alterations will not yield the expected results.

All activities of BP may run out of resources because resources are limited. One of the ways to distribute this type of resources is sharing them across processes. Sharing is defined in this thesis as either a simultaneous use of a resource in a number of activities, or an interruption of a job performing activities utilizing a resource in order to perform another activity that is more important from the business perspective. This thesis will examine solutions related to modelling of BP utilizing resources and to simulation of such processes with respect to resource limitation and resource sharing.

### **Relevance of the Thesis**

Business enterprises are looking for new opportunities to leverage IT tools in order to increase profit or to optimise business practices. Higher business process productivity may be achieved by continuous refinement and modification of business processes. This may be done with the help of business process simulation. Business process simulation allows imitation of modified processes and yielding results before BP are put into action in a real business environment. On the other hand, since the use of business process models in business process simulations is a relatively new approach, it still has some unsolved problems. One of these problems is modelling of the resource dimension. Resources are limited in business as well as in business processes, whereas business process simulation tools lack adequate consideration of shared resource limits and modelling of shared resources. The thesis will look into modelling and simulation methods intended for BP optimization and planning. Furthermore, the thesis will analyse resource limitations in business processes along with potential shared use of suchlike resources in various activities or processes, as well as modelling and simulation of suchlike business processes.

### **Object of Research**

The object of research presented in this thesis is modelling and simulation of business processes involving shared and limited resources.

### **The aim of the Thesis**

The aim of this thesis is to develop methods of modelling and simulation of business rules based BP involving shared and limited resources.

### **Tasks of the Thesis**

In order to reach the aim of this thesis, the following tasks were designed:

1. To perform analysis of the scientific literature related to modelling and simulation, as well as BP simulation tools.
2. To perform analysis of modelling and simulation methods for knowledge-based BP, including BP defined by business rules.

3. To propose ways to broaden existing modelling and simulation methods and tools based on these methods in order to enable specification of such resources in BP modelling and to allow the simulation to consider the shared resources.
4. To perform an experimental study assessing feasibility and effectiveness of proposed methods and evaluating realisation of these methods with the help of developed software prototypes.

### **Research Methodology**

Methods of information search, analysis, systematization, comparative analysis, structural analysis and generalisation were adopted for analysis presented in this thesis. Concept modelling, systematic process analysis, process engineering and simulation methods. were used to compose knowledge-based BP models. Methods of qualitative research, expert evaluation, generalisation and comparative analysis were used to perform experimental studies.

### **Scientific Novelty of Thesis**

1. The proposed method is designed for simulation of business processes with limited and shared resources. The results of this simulation may be used for resource planning in business processes. The method is grounded on construction of a business process workflow in a business process model, verification of the model, modelling resources at the further stage, and using this model as a basis for simulation modelling.
2. A method for resource modelling in a graphic business process model has been proposed.
3. Limited resource modelling specifications and simulation machine specifications were formulated to enable simulation of business processes with limited and shared resources or simulation of concurring business processes for resource simulation.

### **Practical Value of the Research Findings**

The results of the research were used to model and simulate processes of an oil products terminal. The proposed method was tailored to model and simulate a process of filling a tank truck. The results yielded by the simulation of this business process have shown that the process under investigation might be optimised if some modifications were made. Modifications that were put into practice proved to be useful, although there was a deviation from the simulation results due to external factors affecting BP. The enterprise has also leveraged the graphic method of resource modelling which was worthwhile during BP analysis, as it has facilitated the development of the simulation by allowing specification of resources and their attributes.

## **Defended Statements**

1. A method of resource specification in business process models proposed in this thesis ensures identification and clarification of parameters necessary for process simulation.
2. The proposed method for resource utilisation modelling enables a more accurate simulation of dynamic business processes.

## **Structure of the Dissertation**

The scientific work consists of the general characteristic of the dissertation, 4 chapters, discussion, conclusions, list of literature, list of publications and addenda. The total scope of the dissertation – 100 pages, 31 pictures and 24 tables.

## **1. Analysis of Business Processes Modelling and Simulation**

This chapter provides an analysis of BP modelling languages and BP simulation techniques. A comparison of BP modelling, execution and simulation is performed, and main differences are revealed. A Business Process is defined in the thesis as a set of interrelated and structured activities or tasks. Activities of the process may be called functions, therefore a process is comprised of several different functions performed along the process flow. A collection of definitions in this thesis allow making a conclusion that a business process is comprised of a sequence of activities and a process has a review goal to create an output that may be either material (e.g. a product manufactured), or immaterial (e.g. a service provided).

Business Process Model and Notation (BPMN) is a graphic notation for business process specification. The purpose of developing a BPMN is a standardised notation that is easily understood by business process analysts who are responsible for business process development; by system designers who implement processes in information systems; also to those (typically business managers) who monitor processes and manage them.

The analysis has shown that BPMN has the largest degree of suitability for BP simulation, because notation is widely used to model business processes and reflects most of business system aspects presented in a paper (Rima, Šmaižys, Vasilecas 2013c). UML is intended to model software systems and may be used for business process modelling only partially. As EPC was developed by one manufacturers as a language for internal needs, it is not widely spread, even though there are customisations for simulation. BP execution languages reviewed in the thesis do not offer resource modelling, only information resources may be modelled.

BPMN does not provide enough opportunities to display all the necessary aspects of simulation, such as resources (human resources, power supplies, production materials, etc.) and resource accessibility, queues in a business process model or activities competing for resources. BPMN BP models would be convenient to use for a simulation, as enterprises use BPMN-based models for processes documentation. Other languages included into the analysis are not widely spread, therefore most BP models are designed using BPMN.



Even though most manufacturers of business process management techniques are making attempts to tailor BPMN for BP model simulation, suggested methods have weaknesses, such as a lack of consideration that resources may be limited. This thesis will address the problematics of simulation based on BPMN models and possible applications of this type of simulation in business environment.

## **2. Modelling and Simulation of a Business Process with Shared and Limited Resources**

Resources may be divided into consumed resources and used resources. Each type of resources has different features. Consumed resources are a kind of resources that are exhausted for an input to transform into a process output (e.g. a result). The quantity of suchlike resources is minimised by the number of utilised resource measurement units. Consumed resources during business process execution may be divided into power supplies and raw materials. Used resources are only occupied during an activity and are released upon the end of a process activity to make them available to use by other activities or process entities. Used resources are classified into the following groups: staff (human resources) and equipment. The number of human resources and equipment in an enterprise is limited, and usually several business processes in action are concurring for these resources or even interrupt activities performed by these resources.

Several key problematic instances of resource modelling are distinguishable:

- resources take part in several processes;
- a resource takes part in two or more instances of a process in action;
- resources work at a different pace;
- resources decide which process they will execute first;
- process may change depending on its context.

The following, most frequently occurring, types of concurrency in business processes may be distinguished:

- concurrency between different activities of the same process instances;
- concurrency between different process instances;
- concurrency between different processes.

Concurrency for resources between business processes must be taken into consideration, as it affects the progress of a process or processes in the course of time. Respectively, this may affect the profit of an enterprise, the clients served or other measurable and time-dependant parameters.

## **3. Method for Modelling and Simulation of Concurrent Business Processes**

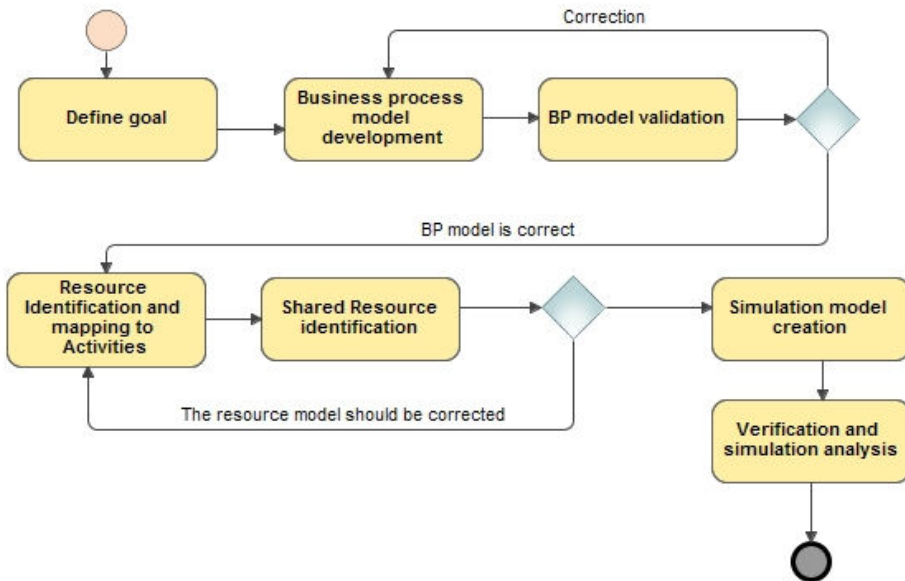
This chapter proposes a method for modelling and simulation of concurrent business processes or of a business process with shared resources. This method allows performing a business process simulation utilising a model composed with the help of BPMN. The method is tailored for modelling and simulation of business processes with limited and

shared resources. The proposed method is intended to display resources with desired properties in a BP model easily understandable by business representatives.

The proposed method (Fig. S3.1) models resources and possible interruptions or switching to performance of work in another activity. Although this is a change to the BP context, it also changes the execution of a process in the course of time.

The first step is to define a purpose of a model and a simulation that are being designed. Tasks and answers to be answered by the simulation model may also be defined at this step.

Another step is development of a static graphical model. This model must be clear for either a process analyst, or for business representatives, and it must reflect a real process behaviour. The developed business process model is a basis for the simulation model. If an error is made at this stage, it will be rather hard to correct it at the later stages. It is worth noting that we are not discerning business process analysis and modelling, as, in our opinion, analysis and modelling are performed simultaneously, and this process is iterative. A business process is modelled using BPMN. At this moment, it is important to model a control flow best displayed by BPMN.



**Fig. S3.1.** Algorithm for business process with shared resources method

When a business process is modelled, the next step is process verification. At first, token animation may be used to verify the model logic. BPMN-simulator or a similar tool intended for token movement simulation may be used. The developed model is verified by business representatives (process owners), and if there are no corrections, the next step is taken. Otherwise, there is a step back into the modelling stage.

Next, resource identification and allocation to process activities is performed. When a process workflow is ready, it is important to identify resources utilised by the process or

resources performing activities of the process. If resources are assumed to be unlimited, it is not necessary to model them in the process, as these will not affect the business process. Unlimited resources may be modelled only in the case if calculation of unlimited resources consumed or used in a business process is necessary. Only resources that are key to the process should be distinguished, and the importance of resources should be determined by an analyst during development of a model.

The step when a concurrency model is created or shared resources are identified is a step when interruptible activities and resources that may switch between running activities are identified. I.e., if an activity is time-consuming, it may be interrupted for a resource to be allocated to execution of another activity that needs it.

At the step of creation of a simulation model, a business process model is tailored for a simulation tool, and the necessary simulation scenarios are defined. The simulation model that was built and the scenarios are used to perform a BP simulation. In order to create a simulation model, certain transformations from BP model to a simulation model may be necessary.

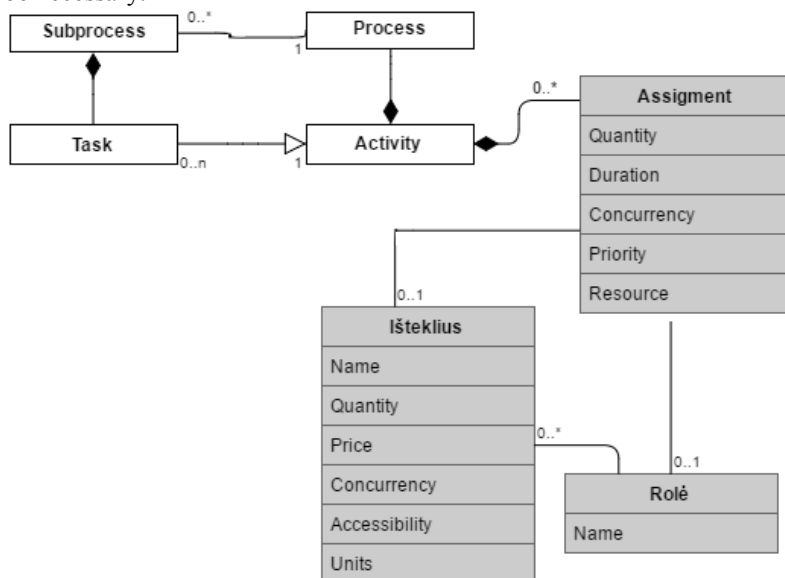


Fig. S3.2. BPMN metamodel extension

Verification and simulation data analysis – during this activity, a BP simulation is run and data is analysed, simulation settings are modified, the analysis of the data is performed using data dimensions relevant to the defined goal of simulation.

A way to display resources in a BPMN model is being proposed. A creation of a copy of a BPMN graphical element “comment” is being suggested (example of modelling is shown in Figure S3.2.). This new element would have a functionality allowing resource modelling. Resources in a model are related to activities, because, as it was already mentioned, every activity has resources and average working hours.

Figure S3.3 shows an extension of a BPMN metamodel. Only a relevant part of a BPMN metamodel is shown, and the proposed extension is marked in grey. The BPMN metamodel artefact is related to an assignment entity. An activity may have several allocated resources, therefore a zero-to-many relationship is realised. This proposal has been presented and looked into in more detail in articles (Vasilecas, Laureckas, Rima 2014).

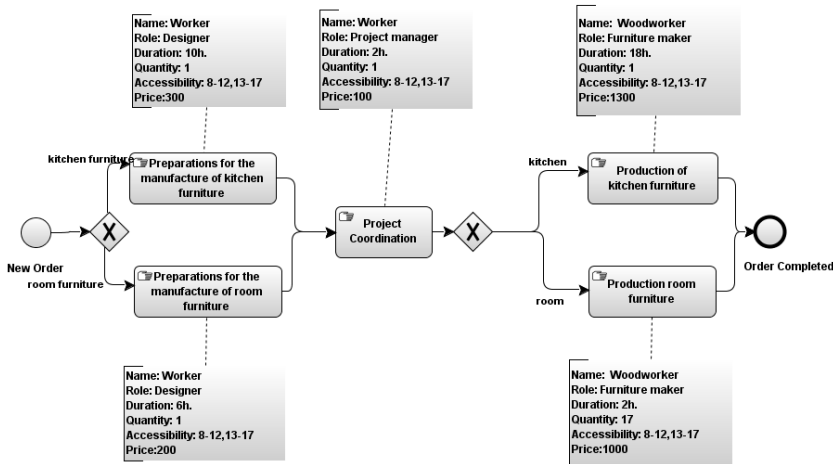


Fig. S3.3. Example of the proposed extension

## 4. Experimental Study on the Method of Business Process Modelling and Simulation

This chapter presents experimental studies on the proposed method for modelling and simulation of business processes competing for resources. The experimental studies are aimed at demonstrating the impact of limited resources, activity priorities and activity interruption on execution of business processes, e.g. the impact on the duration of execution, the order in which activities and processes are run, all these factors impact the final result of a business process put into action.

This chapter contains a description of an experiment on a BP simulation of a real business process in an oil product handling enterprise.

This experimental study has shown that introduction of priorities and interruption of the releasing activity has modified the order of execution of activities in process entities, and the security guard as a resource was first of all used to perform the admittance activity. The results of BP simulation after modifications have shown that the load of the filling lot had increased. Figure S4.1 shows the load of the lot before and after the changes (see the data circled in red).

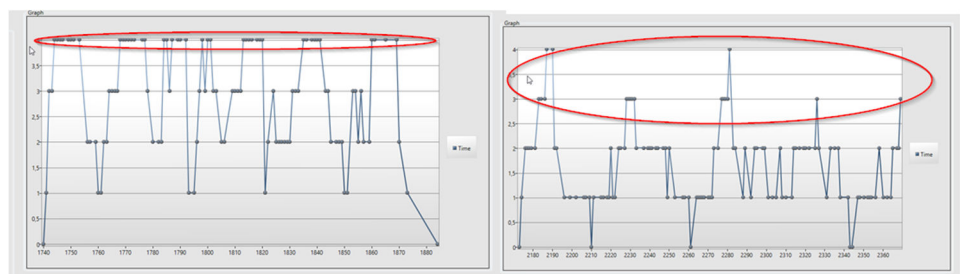


Fig. S4.1. Effect of changes in the simulation

Table S4.1. Evaluation of the method using strengths, weaknesses, opportunities, and threats analysis

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"><li>• A BP model may be reused</li><li>• Specification of resources and resource properties in a BP model simplifies the BO analysis stage and BO validation.</li><li>• A BO model is easier to understand than a mathematical model</li><li>• Shared resources are taken into account</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No integration with other systems</li><li>• No consideration of all the possible factors affecting the process</li><li>• Requires a lot of engineering and analytical effort</li></ul>
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"><li>• Simulation addressing concurrency of activities for resources may reveal BP optimisation opportunities</li><li>• The method may be integrated into other systems and methods</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• It may not yield the expected accurate simulation results</li><li>• Decision makers may rely on simulation results too much</li></ul>

Before the changes, 40 tanks in a filling lot were filled in a total time of 180 minutes, and after the changes, in 140 minutes, therefore, there was a 22 % acceleration.

After the simulation was executed several times, it was decided to implement the changes in a real business process. Figure S4.1 shows differences in a real business process. Data for analysis was collected every 10 minutes by identifying the status, i.e., how many tank trucks are waiting at the drive-in, how many of them are being filled, how many of them are awaiting an exit through the security checkpoint. The only difference in the chart is that after the implemented changes one tank truck may be awaiting the filling (there are 4 filling points, as it was already mentioned).

A description of advantages and disadvantages of the proposed method is summarised using a strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT) analysis matrix (see Table S4.1).

## General Conclusions

1. The analysis of business process modelling and simulation methods, and tools showed that BP models comprehensively represent workflow and control logic. However, the representation of resources utilised during a process execution in simulation models is not sufficient. In addition, the study showed that in practice business processes are widely documented using BPMN. Therefore, the use of BPMN models for development of simulations is beneficial. However, BPMN is missing support for modelling of resources and leads to the need for development of a way to specify and assign the resources utilised during BP execution. The analysis also showed that the existing BP simulation tools lack of support for simulation of BPMN modelled business processes with the utilisation of resources.
2. The analysis of business rule based BP modelling and simulation with shared and limited resources showed that the existing simulation methods and tools lack of consideration given to the resource types and a variety of characteristics. E.g. usually the fact, that conscious resources of type “used”, such as employees, according to the predefined rules may choose when and which activities or processes to perform, is ignored. As well as competition for resources between separate activities. In such a case, the activities with a higher priority may temporarily interrupt activities with a lower priority to release resources needed for a higher priority activities. In addition, the study showed that the existing simulation methods are not sufficiently estimating limited resources and its shared use. This has to be evaluated during the development of BP models and simulations.
3. The thesis presents requirements for resource modelling in a BP model. On the basis of this model, a new way for resource representation in a BPMN model was proposed together with an extension of a metamodel enabling the implementation of the method. Such visualisation of resources gives an opportunity to analyse resources used in business processes. On the basis of the proposed resource modelling method, a method for modelling and simulation of shared resource business processes was developed. This method allows to accurately estimate used resources of the real process.
4. Experiments were carried out for this thesis with the help of DBSim, a tool developed by VGTU Information Systems laboratory and expanded by the author of the thesis. The tool realises the method of shared resource business process modelling and simulation proposed in the thesis. The experiments were carried out through simulation of a tank truck filling process. Using simulation experiments with tank truck filling process where various instances of activities of this process (e.g. a tank-truck inspection) compete for shared resources (a security guard). Experiments have shown an up to 20% lower average process duration during a simulation done using the proposed method in comparison with an average process duration during a simulation where shared resources are not taken into account, and it coincides with the measured duration of a business process with 10 % accuracy.
5. Another experiment was carried out with a business process that is being improved. The two tanker truck filling process scenarios have been selected for simulation. According to the first scenario used shared resource and according to another, the same resource used only for dedicated activity. Business process simulation showed that

the use of shared resource (security inspector) speeds up the tanker truck filling by 22%. The simulation result was proved after real-life implementation of resource sharing into the tanker truck servicing business process.





---

## **Priedai\*\***

**A priedas Išteklių savybių aprašymo schema**

**B priedas. Bendraautorių sutikimai teikti medžiagą disertacijoje**

**C priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos**

---

**\*\* Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.**

Audrius RIMA

TAISYKLĖMIS GRINDŽIAMŲ VEIKLOS  
PROCESŲ SU BENDRAI NAUDOJAMAIŠ  
IŠTEKLIAIS MODELIAVIMO IR  
SIMULIACIJOS TYRIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,  
informatikos inžinerija (07T)

A RESEARCH ON MODELLING  
AND SIMULATION OF RULES  
BASED BUSINESS PROCESSES  
WITH SHARED RESOURCES

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,  
Informatics Engineering (07T)

2016 11 18. 11,0 sp. l. Tiražas 20 egz.  
Vilniaus Gedimino technikos universiteto  
leidykla „Technika“,  
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,  
<http://leidykla.vgtu.lt>  
Spausdino BJ UAB „Baltijos kopija“  
Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius